台灣省農業試驗所特刊第73號
ISBN 957-02-1677-8

蔬菜育種技術研習會專刊

TARI LIB.
C005920

行政院農業委員會
台灣省政府農林廳 補助
中國園藝學會 協辦
台灣省農業試驗所 編印

中華民國八十七年六月

封面說明：

絲瓜農試 181 號新品系係利用圓筒絲瓜和稜角絲瓜進行種間雜交育種，經 4 世代回交及 4 世代自交後，再與屏東絲瓜優良自交系雜交所獲得的一代雜交品種，除具有稜角絲瓜的優良品質外，還具有抗病毒病、生長勢強、早生、節成性、雌花形成和著果不受日照長短影響等優點。

蔬菜育種技術研習會專刊

中華民國八十七年四月十三日

於台灣省農業試驗所舉行

林 俊 義
蕭 吉 雄 主 編
楊 偉 正

行政院農業委員會 補 助
台灣省農業試驗所 編 印

中 華 民 國 八 十 八 年 五 月

序　言

隨著生活水平提昇，國人對蔬菜產品的需求，在量或質上都有所改變，為了迎合消費者的需要，除提高產量和品質外，產品多樣化、精緻化亦為目前重要研究課題。利用設施栽培生產蔬菜雖可解決部份問題，但仍以品種改良最為長久與實際，因此如抗病蟲害、抗逆境、適合機收、豐產、質優、高營養等品種的育成，都有助於本省蔬菜產業的發展。

近年來，本省農業正處於轉型期，許多農產品將因加入世界貿易組織(WTO)而必須做適當的調整。蔬菜為民生必需品，產業調整勢必對社會造成很大影響，因此需要育成符合本省氣候環境和社會大眾需求的新品種，以供應市場所需。國內過去採用傳統育種方法進行蔬菜品種選育，雖有輝煌成果，然而其親源局限於血緣較近之栽培品種，致使遺傳基因應用相當狹窄，限制了某些性狀的改良；利用種屬間雜交，雖可增加遺傳變異、抗病蟲性、抗逆境性和其他重要性狀，不過有雜交不稔或胚發育不良等現象發生，這些現象必須借助胚培養、原生質體融合、體細胞突變及基因轉殖等技術來加以克服，以期獲得新的雜交品種，滿足市場的需求。

過去台灣在蔬菜育種方面的成果雖然豐碩，但是在生物科技日新月異、突飛猛進的時代，為使蔬菜育種研究人員瞭解農業科技發展新趨勢，提昇育種工作技能和蔬菜產業競爭力，在行政院農業委員會、台灣省政府農林廳經費補助，中國園藝學會協助下，本所辦理「蔬菜育種技術研習會」，敦聘目前從事育種工作經驗豐富的專家、學者為講師，講授蔬菜育種相關課程，並安排實習課程供學員實際操作。本次學員除由各改良場所推派新進研究人員參加外，並請中國種苗改進協會及中華種苗學會推薦實際從事蔬菜育種工作之種苗業者參加，收穫良多。研習會講師講授之內容豐富，彌足珍貴，因此特將講義彙編成冊，供從事蔬菜育種人員參考。

本次研習會得以順利成功，端賴農委會、農林廳、中國園藝學會、中國種苗改進協會及中華種苗學會等之支持與配合，各位講師不辭辛勞，諄諄傳授寶貴的知識與經驗，都彌足感佩；本所相關單位同仁戮力籌辦，完成此一極具意義之重要工作，在此併致最誠摯的謝意。

台灣省農業試驗所所長

林俊義 謹識

中華民國八十七年六月

目　　　　錄

序　言……………………………………………林所長俊義…………………………I

作物育種原理……………………………………郭益全………………………………1

蔬菜族群改良……………………………………盧煌勝………………………………15

蔬菜抗病育種……………………………………蕭吉雄、楊偉正、王三太………33

蔬菜抗蟲育種……………………………………陳炳輝………………………………71

蔬菜雜種優勢利用………………………………黃懿秦………………………………81

蔬菜抗病篩選技術………………………………王添成………………………………91

數量遺傳在蔬菜育種上之應用…………………張龍生………………………………107

生物統計在蔬菜育種上之應用…………………胡凱康………………………………115

生物技術在蔬菜育種上之應用…………………劉邦基、張有明、許華欣………133

甘藍類蔬菜育種…………………………………沈再發………………………………145

白菜類蔬菜育種…………………………………張連宗………………………………161

主要瓜類蔬菜育種………………………………蕭吉雄、楊偉正、沈百奎………193

洋香瓜育種………………………………………黃賢良、王仕賢…………………223

番茄育種…………………………………………陳正次………………………………231

茄子育種…………………………………………陳農哲………………………………285

台灣蔥科蔬菜品種改良之研究…………………張武男、黃　鵬…………………305

豆類蔬菜育種……………………………………楊偉正、蕭吉雄…………………325

萵苣育種…………………………………………陳農哲………………………………357

蔬菜組織培養技術………………………………張有明………………………………379

聚合酶連鎖反應技術……………………………許華欣………………………………387

蔬菜細菌性病害之接種技術……………………許秀惠………………………………391

蔬菜病毒病害接種技術…………………………鄭櫻慧………………………………397

作物育種原理
—作物育種之兩個基本遺傳法則—

郭益全
臺灣省農業試驗所

前　言

人類之所以栽培作物，無非是要利用該等作物之莖、葉、花、果實或種子等來滿足人類物質或精神上之需求。而人類對這些被使用部份質或量之改進開始的很早，一般咸認：史前人類蒐集植物可食用部分，進而人為栽種即是作物育種之濫觴。此後，人類文明進步，作物育種方法確立，遺傳理論闡揚，而被人類使用之植物就被稱為作物；而作物的莖、葉、花、果實或種子等等就被稱之為性狀。

習慣上，作物之性狀常依—控制該性狀之基因數目暨環境對該基因表現之相對重要性等兩因子—而被歸類為質的性狀或量的性狀。唯，嚴格來說，週延地判斷一種性狀之被歸類為質的性狀或量的性狀有時也相當不易；同時，就作物言，往往也發現若干性狀之表現係同時受質和量的基因所控制。因之，嚴格地區分某些性狀之為質或量的性狀，在某些狀況下亦無特殊意義。話雖如此，然，一般咸同意：質的性狀的表現係受一對或少數主效基因所控制，且該等基因之表現也較不受環境所影響，而該性狀之頻度分布則是分立不連續的；量的性狀則呈連續性分布，其表現則受多數微效基因所控制，而這些基因之個別效應微小且其表現受環境之影響則頗為強烈。換言之，作物性狀之表現（P）係由遺傳（G）及環境（E）來共同決定；而遺傳與環境效應對各該性狀表現之相對重要性則依性狀別而不同。

作物育種學就是：經藉改變或組合作物之遺傳組成，來人為地操控目標作物若干質或量的性狀之表現，而使該作物之綜合表現能儘可能地契合人們需求的一門科學。因之，作物育種學是現今多元化作物生產上不可或缺的一個環結。在傳統育種操作中，作物遺傳組成之改變或組合概經由雜交（天然或人為）或突變（天然或人為）所達成，故，作物之常態繁殖及花粉授與方法與各該作物遺傳組成改變或組合之方法有極其密切之關係存在。一般，作物依常態繁殖方法可大別為二大類：（一）無性繁殖作物：利用植物體之營養部分以接木、壓條、扦插、分株、分球、組織培養或其他等無性繁殖方法以產生新的個體；及（二）有性繁殖作物：需藉開花時，雌雄配子之融合來繁殖新的個體。而有性繁殖作物又可依花粉自然授與之方式而區分為：自交作物（self-pollinated or autogamous crops）；屢異交作物（often cross-pollinated or partly allogamous crops）；及異交作物（cross-pollinated or allogamous crops）等三種。故而，此二類作物或此三種作物在遺傳組成之改變

或組合，在實際傳統育種操作方法上是殊有不同，唯，在實際育種操作方法上雖有不同，但在遺傳操控方面所涉及之遺傳法則，則不論目標性狀之屬質的性狀或係量的性狀，則大致仍尊循：孟德爾及後來遺傳學者等之基本遺傳法則。

孟德爾遺傳定律是奧國僧侶孟德爾（Gregor Johann Mendel）由豌豆實驗所發現，其論文雖早在1865年就已經發表，但並未引起當時學界之注意（後人推測此可能與該論文係用當地語文撰寫有關）。直至孟氏死後，而於本世紀初（1900's）該定律才被再發現。如今，孟德爾遺傳定律已被公認為現代遺傳學之基石；而孟德爾本人則被認為是遺傳學之父。孟德爾遺傳定律可大別成兩個法則，孟氏的第一個遺傳定律是所謂的分離律（the principle of segregation）；而孟氏的第二個遺傳定律則是所謂的獨立組合律（the principle of independent assortment）。目前，自交作物的一般育種理論或異交作物連續自交時目標性狀之遺傳行為多可由孟德爾之遺傳定律來解說。

哈弟—溫柏格（Hardy-Weinberg或Castle-Hardy-Weinberg equilibrium）定律（均衡）敘述在設定之內外在條件下，族群內基因及基因型頻度之變化情形。當某些條件符合時，族群內基因頻度代代保持不變；而基因型之頻度也呈現一定之比率。而在某些特定條件下，族群內基因及基因型頻度則依一定之方向改變。哈弟—溫柏格定律（均衡）向被認為是族群遺傳（population genetics）之核心理論，也是異交作物傳統育種之重要理論基石之一。

本文之目的即在：將此兩基本遺傳法則在質的性狀之遺傳方面做一溫故性與綜合性地再強調，期與與會學者專家共收溫故而悟新之功。至於量的性狀之遺傳則不在討論範圍之內。而為討論方便起見，茲按自交作物—自花授粉不施淘汰（self-pollination without selection）、自花授粉並施淘汰（self-pollination with selection）；異交作物—異花授粉不施淘汰（cross-pollination without selection）、授粉前施淘汰（selection before pollination）及授粉後施淘汰（selection after pollination）等項分別敘述；並以自花與異花授粉族群選拔效應之綜述為總結，敬請與會賢達不吝指教。

自交作物—自花授粉不施淘汰

茲以雜交某基因座上兩等位基因（alleles）不同的兩個純質（homozygous）親本的後裔分離情況來說明之。設，親本-1某一質的性狀之基因型為BB，而親本-2則為bb。此兩親本之雜交第一代F_1植株，因從兩親本各獲得成對染色體組中之一組（或稱各獲得某基因成對等位基因中之一個等位基因），其基因型是為Bb；同時，這F_1植株所產生單元體花粉粒及卵所攜帶兩等位基因（B與b）之比例為1 : 1。而當這F_1植株自交時，單元體之花粉粒與卵結合而產生各基因型比例為1 BB : 2 Bb : 1 bb的F_2後裔。此後，因為在每一世代之自交過程中，純質之植株將均僅產生如己的純質後裔；反之，異質之植株則均產生各基因型比例為1 BB:2 Bb:1 bb的後裔。

如此，連續自交使該族群純質後裔之頻度增加，而異質後裔之頻度降低，而此等頻度之變化完全遵循孟德爾遺傳定律並示如圖1。由圖列知，在自交作物自花授粉不施淘汰之族群中，異質後裔之個體數以—每自交一代遞減1/2之比例—隨自交代數之增加而遞降，而在當 n（自交之世代數）趨近無窮大時，族群中異質後裔之個體數將趨近於零而不等於零，而兩純質後裔之和將趨近於百分之百而不為百分之百。

而在自交的任何世代中，將任一世代（n） 之異質植株行自交一次時，其後裔（是為 n+1 世代）各基因型分離之比例必與F_1植株行自交時之族群（即F_2族群）相同；而當自交二次時，其後裔（即 n+2 世代）各基因型分離之比例必與F_1植株行自交時之族群相同（即F_3族群）。此即，如於F_6世代的異質植株行自交時，該異質植株之後裔族群（即F_7族群）各基因型之頻度將分別為1 BB : 2 Bb : 1 bb，此比例正與由F_1植株自交所成F_2世代之後裔，其族群各基因型分離成1BB : 2Bb : 1 bb之比例相同。而如果再任由這F_6異質植株所成F_7族群續行自交而不施任何淘汰，則這個族群（即F_3族群）各基因型之頻度將分別為3 BB : 2 Bb : 3 bb，而與F_3族群各基因型之分離比例相同。

如此，具有分離後裔之植株（即異質植株）的頻度，將依選拔世代異質個體之頻度而定；而異質植株後裔基因型與表現型之頻度，則依該異質植株選出後之自交世代數而定。因之，後裔被培育之世代數暨該後裔被選出以成立系統之世代數，是為育種家極為重視之兩個數字。

	Parent 1		Parent 2
	BB	×	bb
F_1		Bb	
F_2	1/4 BB	1/2 Bb	1/4 bb
F_3	3/8 BB	1/4 Bb	3/8 bb
F_4	7/16 BB	1/8 Bb	7/16 bb
.	.	.	.
.	.	.	.
F_{n+1}	$1/2[1-(1/2)^n]$	BB $(1/2)^n$ Bb	$1/2[1-(1/2)^n]$ bb

圖 1. 雙元體物種單基因之分離。

Fig. 1. Segregation of a single gene in a diploid species. The fraction given for each genotype is the frequency expected on the average for each generation of self-pollination.

茲以假想之某自交作物一對抗病基因之例子來例釋系統間及系統內各基因型之分離情形，並假定等位基因 R 對 r 為完全顯性。以下例題供進一步思考：

1. What is the frequency of susceptible plants in the self-pollinated population without selection in the F_2 and F_4generations ?

   The frequency of susceptible plants (rr) is 1/4 in F_2 and 7/16 in F_4

2. What is the frequency of resistant plants in the self-pollinated population without selection in the F_2 and F_4 generations ?

   The frequency of resistant plants is the sum of the frequencies of RR and Rr plants. Thus, the frequency of resistant plants in F_2 is 1/4 + 1/2 = 3/4; in $F_4$is 7/16 + 1/8 = 9/16.

3. What frequency of $F_{2:3}$ lines would have segregating progeny ?

   The frequency of lines that segregate is equal to the frequency of heterozygous plants in the generation in which they were derived. The frequency of heterozygous plants (Rr) in F_2 is 1/2; therefore, the frequency of segregating $F_{2:3}$ lines is 1/2.

4. What frequency of $F_{2:5}$ lines would have segregating progeny ?

   The frequency of heterozygous plants (Rr) in F_2 is 1/2; therefore, the frequency of segregating $F_{2:5}$ lines is 1/2.

5. What is the frequency of susceptible plants in an $F_{2:3}$ line that is segregating for the R gene ?

   A heterozygous F_2 plant is equivalent genetically to an F_1; therefore, segregation among progeny from an F_1 is equivalent to segregation among F_3 progeny from a heterozygous F_2 (1/4 RR : 1/2Rr : 1/4 rr). The frequency of susceptible plants (rr) in a segregating $F_{2:3}$ line is 1/4.

6. What is the frequency of susceptible plants in an $F_{9:11}$line that is segregating for the R gene ?

   A heterozygous F_9 plant is equivalent genetically to an F_1. The segregation among F_{10} progeny from an F_9 plant is equivalent to that among F_2 progeny of an F_1 plant (1/4 rr plants). Segregation among F_{11} progeny from an F_9 plant would be equivalent to that of F_3 progeny from an F_1 plant (3/8 rr plants). The frequency of susceptible plants in a segregating $F_{9:11}$ line is 3/8

自交作物—自花授粉並施淘汰

自花授粉族群單一基因之—基因型暨表現型頻度—可經人為或天然淘汰而改變之。當就隱性基因型植株選拔完全有效時，僅經一世代之淘汰，顯性等位基因即可被有效地從族群中剔除。但要從族群中有效地剔除隱性等位基因，則相當困難，因為此隱性等位基因常被異質個體之顯性等位基因所隱蔽而不易察知。

當就某顯性等位基因實際行選拔時，淘汰後當世代之隱性基因型頻度可依下述步驟來估算之，茲以於 F_2 世代某顯性等位基因實際行選拔為例而例釋之。

STEP 1. Compute the sum of the frequencies of homozygous dominant and heterozygous individuals in the generation in which selection is conducted.

$$F_2 = 1/4\ BB : 1/2\ Bb : 1/4\ bb$$

$$\text{Sum of } BB + Bb = 1/4 + 1/2 = 3/4$$

STEP 2. Divide the frequency of homozygous dominant individuals before selection by the sum obtained in step 1 to obtain the frequency of homozygous dominant individuals after selection.

$$\frac{1/4\ BB}{3/4\ (BB + bb)} = 1/3\ BB$$

STEP 3. Divide the frequency of heterozygous individuals before selection by the sum obtained in step 1 to obtain the frequency of heterozygous individuals after selection.

$$\frac{1/2\ Bb}{3/4\ (BB + bb)} = 2/3\ Bb$$

STEP 4. The frequency of homozygous recessive individuals in the generation after selection is equal to one-fourth the frequency of heterozygous individuals after selection (step 3) because the heterozygotes segregate 1/4 BB : 1/2 Bb : 1/4 bb.

$$2/3\ Bb \times 1/4 = 1/16\ bb \text{ in } F_3$$

STEP 5. The frequency of heterozygous individuals in the generation after selection is equal to one-half the frequency of heterozygous individuals after selection (step 3).

$$2/3\ Bb \times 1/2 = 1/3\ Bb \text{ in } F_3$$

STEP 6. The frequency of homozygous dominant individuals in the generation after selection is equal to the frequency of homozygous dominant individuals after selection plus one-fourth the frequency of heterozygous individuals after selection.

$$1/3\ BB + (2/3\ Bb \times 1/4) = 1/3 + 1/6 = 1/2\ BB \quad \text{in } F_3$$

如此，在F_3 世代（於F_2 世代行隱性等位基因之淘汰）各基因型之頻度為：

$$1/2\ BB : 1/3\ Bb : 1/6\ bb$$

以下節錄二個例題供進一步思考。設 R為某抗病之等位基因，R 對r 為完全顯性。

1. What is the frequency of susceptible plants in the F_4 generation after selection for resistance among F_3 plants?

Step 1. The genotypic frequency in the F_3 is

3/8 RR : 1/4 Rr : 3/8 rr

The frequency of selected genotype is 3/8 RR + 1/4 Rr =5/8

Step 2. The frequency of RR after selection is

$$\frac{3/8\ RR}{5/8(RR + Rr)} = 3/5\ RR$$

Step 3. The frequency of Rr after selection is

$$\frac{1/4\ Rr}{5/8(RR + Rr)} = 2/5\ Rr$$

Step 4. The frequency of susceptible rr individuals in F_4 is

2/5 Rr × 1/4 = 1/10 rr

2. Susceptible plants are rouged from the population in the F_4 generation early in the season. At maturity, individual F_4 plants are harvested. What frequency of the $F_{4:5}$ lines would segregate for resistance.

Step 1. The genotypic frequency in the F_4 is

7/16 RR : 1/8 Rr : 7/16 rr

RR + Rr = 9/16

Step 2. Does not apply.

Step 3. The frequency of segregating $F_{4:5}$ lines is equal to the frequency of heterozygous plants after selection in F_4.

$$\frac{1/8\ Rr}{9/16\ (RR + Rr)} = 2/9\ Rr$$

The frequency of segregating $F_{4:5}$ lines would be "2/9".

異交作物—異花授粉不施淘汰

經藉逢機異花授粉所成族群某性狀的遺傳組成視該族群該性狀的等位基因之頻度而異。當某族群由某世代繁衍至下一世代時，某性狀之基因暨基因型頻度維持不變，則此族群稱呈哈弟—溫柏格均衡。在一呈哈弟—溫柏格均衡之族群，該性狀基因型之頻度將由方程式 p2 + 2p(1-p) + (1-p)2表示之。此處，p表某等位基因之頻度；(1-p)表另一等位基因之頻度 。

假設在二元植物異花授粉之族群中，兩等位基因為 Y 與 y 的單一基因控制種皮之顏色；而等位基因：Y 之頻度為 0.3。則當此族群在呈哈弟—溫柏格均衡時YY，Yy，及 yy 各基因型之頻度為何? 考慮此一問題時，首先令 Y 等位基因

之頻度為 p； y 等位基因之頻度為 (1-p)。則，p = 0.3；(1-p) = 1-0.3 = 0.7。如此，

YY : Yy : yy = (0.3)2 : 2(0.3)(0.7) : (0.7)2

=0.09 : o.42 : 0.49

而任何族群達哈弟—溫柏格均衡要件，據Hartl and Clark (1989)所述為：

1.The organism in question is diploid,

2.Reproduction is sexual,

3.Generations are nonoverlapping

4.Mating is random

5.Population size is very large.

6.Migration is negligible

7.Mutation can be ignored.

8.Natural selection does not affect the gene under consideration.

茲以由四親本所成假想之異花授粉族群為例以例釋之。設該四親本中之兩個的基因型為 Bb，另兩個為 BB。則等位基因 B之頻度為 0.75，等位基因 b 之頻度為 0.25。當四親本行自交暨反交以外之所有儘可能的交配時，該族群各基因型之頻度如下。

	Genotypes		
	BB	Bb	bb
Bb-1×Bb-2 =	1	2	1
Bb-1×BB-1 =	2	2	
Bb-1×BB-2 =	2	2	
Bb-2×BB-1 =	2	2	
Bb-2×BB-2 =	2	2	
BB-1×BB-2 =	4		
Total	13	10	1
Genotypic frequency	0.54	0.42	0.04
Hardy Weinberg equilibrium	0.56	0.38	0.06

在這種交配方式下，該族群各基因型之頻度顯然並未符合哈弟—溫柏格均衡。而在當將四親本之自交暨反交等兩種交配方式納入交配清單時，則此族群各基因型之頻度即符合哈弟—溫柏格均衡。

	Genotypes		
	BB	Bb	bb
Six single cross in above table	13	10	1
Reciprocals of the six single crosses	13	10	1
Bb-1 self	1	2	1
Bb-2 self	1	2	1
BB-1 self	4		
BB-2 self	4		
Total	36	24	4
Genotypic frequency	0.56	0.38	0.06
Hardy-Weinberg equilibrium	0.56	0.38	0.06

由此可知逢機交配（random mating）對異交族群達哈弟—溫柏格均衡之影響。當然，Hartl and Clark (1989) 所述任何族群達哈弟--溫柏格之均衡要件，對族群達哈弟—溫柏格均衡之影響程度互有不同。單一要件之影響程度也視其它內外在條件之搭配而異，同時，目標性狀若與其他極易受外在栽培條件影響之性狀相關或連鎖時，可能亦將影響該族群各基因或基因型之頻度。再者，作物育種之目的是在操控目標族群之基因頻度往預期之方向改變。故，育種族群不符族群達哈弟—溫柏格之均衡要件。通常，異交作物任由異花授粉不施淘汰之族群可稱為哈弟—溫柏格均衡之族群，尤以老舊傳統農家異交作物品種（族群）為然 。

異交作物—異花授粉前施淘汰

異交作物異花授粉前施淘汰，因係當選植株之雌雄配子才有機會交配產生後裔，故可稱為雌雄親本均受控制之交配方式；而異交作物異花授粉後施淘汰，因僅雌配子係來自當選之植株，雄配子則來自族群中任何植株，故這種交配方式僅雌性親本受控制。因之，在操控目標族群之基因頻度往預期方向改變之效應方面，異花授粉前施淘汰者概較授粉後施淘汰者為佳。茲將估算異交作物異花授粉前施淘汰，目標族群之基因頻度往預期方向改變之數學估算步驟列述於下，估算過程中係假設淘汰隱性等位基因。

Step 1. Calculate the genotypic frequency in the population before selection with the equation $p_o^2 + 2\,p_o(1-p_o) + (1-p_o)^2$, where, p_o = frequency of the dominant allele and $1-p_o$ = frequency of recessive allele before selection.

Step 2. Eliminate the homozygous recessive individuals represented by the component $(1-p_o)^2$, and add the frequencies of the homozygous dominant and heterozygous individuals: $p_o^2 + 2\,p_o(1-p_o)$.

Step 3. Compute the frequency of the dominant allele after selection by using the relationship.

$$p_1 = \frac{p_o^2 + p_o(1-p_o)}{p_o^2 + 2\,p_o(1-p_o)}$$

where p_1 = frequency of the dominant allele after one generation of selection.

Step 4. Calculate the frequency of the recessive allele after selection as $1-p_1$ or as

$$1-p_1 = \frac{p_o(1-p_o)}{p_o^2 + 2\,p_o(1-p_o)}$$

Step 5. Compute the genotypic frequency in the population after selection as

$$p_1^2 + 2\,p_1^2(1-p_1^2) + (1-p_1^2)_2$$

茲以假想之逢機交配族群抗性基因例釋之，此例中等位基因 R 對 r 為顯性，並假定進行淘汰前原始族群 R 等位基因之頻度為 0.2 ，而 r 為 0.8，其數學估算步驟分述於下。

Step 1. Since the original population were random-mated without selection, the gene frequencies would not change. Union of the sperm and egg cells can be diagrammed as

		Female	
		0.2 R	0.8 r
Male	0.2 R	0.04 RR	0.16 Rr
	0.8 r	0.16 Rr	0.64 rr

The genotypic frequency in the population would be

$$0.44RR + 0.32\,Rr + 0.64\,rr$$

That is equivalent to the equation:

$$p_o^2 + 2\,p_o(1-p_o) + (1-p_o)2 = (0.2)2 + 2\,(0.2)(0.8) + (0.8)2$$

Step 2. Elimination of the homozygous recessive individuals before pollination results in a population consisting of 0.04 RR + 0.32 Rr = 0.36 of the original population.

Step 3. The homozygous dominant individuals produce gametes with the allele R, and half the gametes produced by the heterozygotes carry the R allele. The frequency of the R allele in the gametes available for fertilization would be

$$\frac{0.04\ RR + 1/2\ (0.32\ Rr)}{0.36\ (RR + Rr)} = 0.56\ R$$

This is equivalent to

$$p_1 = \frac{p_o^2 + p_o(1-p_o)}{p_o^2 + 2\ p_o(1-p_o)} = \frac{(0.2)2 + (0.2)(0.8)}{(0.2)2 + 2(0.2)(0.8)} = 0.56\ R$$

Step 4. The gametes that do not have the R allele must have the r allele. Therefore, the frequency of r is 1- 0.56R = 0.44, which is equivalent to $1-p_1$. An alternative procedure is to consider that half the gametes of the heterozygous carry the r allele. The frequency of r can be calculated as

$$\frac{1/2\ (0.32\ Rr)}{0.36\ (RR + Rr)} = 0.44\ r$$

Step 5. The gametes produced by selected individuals would have the frequency of 0.56 R and 0.44 r. Every gamete would have an equal chance to combine with every other gamete, which can be diagrammed as

	Female	
	0.56 R	0.44 r
Male 0.56 R	0.31 RR	0.25 Rr
Male 0.44 r	0.25 Rr	0.19 rr

The genotypic frequency in the new population would be

0.31 RR + 0.50 Rr + 0.19rr

That is equivalent to

$$p_1^2 + 2\ p_1(1-p_1) + (1-p_1)^2 = (0.56)^2 + 2(0/56)(0.44) + (0.44)^2$$

異交作物—異花授授粉後施淘汰

由於異交作物異花授粉前施淘汰系雌雄親本均受控制之交配方式；而異交作物異花授粉後施淘汰之交配方式僅雌性親本受控制。因之，在操控目標族群之基因頻度往預期方向改變之效應方面，異花授粉前施淘汰者概為授粉後施淘汰者之兩倍。有關估算異交作物異花授粉後施淘汰，目標族群之基因暨基因型頻度改變之數學估算步驟除步驟 5外，餘與估算異交作物異花授粉前施淘汰者同。茲以前例解析之。

Step 1 to 4. Calculation of the frequency of the dominant and recessive allele applies only to the female gametes. There is no selection of the male parent; therefore, there is no change in the frequency of alleles among male gametes.

Step 5. The frequency of alleles from the selected female parent is equal to p_ and 1-p_, while the frequency from the unselected male parent is po and 1-po. The genotypic frequency in the next generation can be calculated as

$$p_0p_1 + [p_0(1\text{-}p_1) + p_1(1\text{-}p_0)] + (1\text{-}p_0)(1\text{-}p_1)$$

With selection after pollination, the gene frequency for the selected female becomes $R = p_1 = 0.56$ and $r = 1\text{-}p_1 = 1\text{-}0.56 = 0.44$.

The gene frequency for the unselected male remains at $R = p_o = 0.2$ and $r = 1\text{-}p_o = 1\text{-}0.2 = 0.8$.

The union of gametes to form the new population can be diagrammed as

		Female	
		0.56 R	0.44 r
Male	0.2 R	0.11 RR	0.09 Rr
	0.8 r	0.45 Rr	0.35 rr

The genotypic frequency is 0.11 RR + 0.54 Rr + 0.35rr

That is equivalent to

$$p_op_1 + [p_o(1\text{-}p_1) + p_1(1\text{-}p_o)] + (1\text{-}p_o)(1\text{-}p_1) =$$

$$(0.2)(0.56) + [(0.2)(0.44) + (0.56)(0.8)] + (0.8)(0.44)$$

綜合上述授粉前施淘汰及授粉後施淘汰的典型例子（表 1）知，在當原始族群之基因型頻度為0.04 RR : 0.32 Rr : 0.64 rr ；基因頻度為 R = 0.2，r = 0.8 之族群進行授粉控制時，授粉前施淘汰所成新族群之基因型頻度則成為 0.31 RR : 0.50 Rr : 0.19 rr；基因頻度變為 R = 0.56，r = 0.44。 而授粉後施淘汰成新族群之基因型頻度變為0.11 RR : 0.54 Rr : 0.35 rr； 基因頻度則成為 R = 0.38，r = 0.62。此例強調

出一個重要之作物育種原則：即在逢機授粉之族群中，授粉前施淘汰對新成族群基因頻度改變之效應是為授粉後施淘汰者之兩倍。此一作物育種原則在輪迴選種方面是一個極其重要之考量因子。

表1. 異花授粉作物原始暨衍生族群基因頻度之改變。

Table 1. Change in gene frequency of original and subsequent populations in a hypothetic cross-pollinated population.

	Gene frequency	
	R	r
Original population	0.2	0.8
Selection after pollination	0.38	0.62
Selection before pollination	0.56	0.44

自花與異花授粉族群之選拔效應

自花授粉族群單一基因之—基因型暨表現型頻度—可經人為或天然淘汰而改變之。當就隱性基因型植株選拔完全有效時，僅經一世代之淘汰，顯性等位基因即可被有效地從族群中剔除。但要從族群中有效地剔除隱性等位基因，則相當困難，因為此隱性等位基因常被異質個體之顯性等位基因所隱蔽而不易察知已如前述。而在異花授粉族群中，當某些條件符合時，如就隱性基因型植株選拔完全有效暨授粉前施淘汰等，顯性等位基因僅經一世代之淘汰也可被有效地從該異花授粉族群中被有效地剔除。此即，若就隱性基因型植株選拔完全有效時，自花授粉作物與異花授粉授粉前施淘汰一樣，均能僅經在一個世代之淘汰而將該顯性等位基因自族群中剔除。但，對顯性等位基因行選拔則不然，因族群中異質植株之隱性等位基因為另一顯性等位基因所遮掩，而無法有效地自該族群中剔除該隱性等位基因。

理論上，在自花授粉族群植株之任一個配子無例外地被嚴格限制必與各該植株之任一個配子相結合；但在異花授粉族群植株之任一個配子則很有可能是與來自族群中任一植株之配子相結合。因之，在自花授粉族群中，純質顯性個體僅產生純質顯性之後裔；而在異自花授粉族群中，純質顯性個體所接受之花粉很有可能是來自異質植株之隱性或顯性等位基因。故，就顯性等位基因行選拔時，其對衍生族群基因型之選拔效應在自花授粉族群與異花授粉授粉前施淘汰則有不同。兩族群基因型改變之概況示如表 2。由表知，就本例之結果是：兩族群基因頻度

不變，而在兩族群基因型頻度方面則異花授粉授粉前施淘汰者之效應較自花授粉族群者小。衍生之意義應是：相同之遺傳條件下，自花授粉作物之育種時效應較異花授粉授粉前施淘汰者有利。

表2.　授粉前就顯性等位基因選拔在自花及異花授粉族群之選拔效應。

Table 2. Effect of selection among plants before pollination or a dominant allele in a self-pollinated and in a cross-pollinated populations.

SELF-POLLINATED POPULATION					
Before selection					
	Gene frequency		Genotypic frequency		
	R = 0.5	r = 0.5	0.25 RR	0.50 Rr	0.25 rr
				Self-pollinated	(Discard)
After selection					
	R = 0.67	r = 0.33	0.50 RR	0.33 Rr	0.17 rr
CROSS-POLLINATED POPULATION					
Before selection					
	Gene frequency		Genotypic frequency		
	R = 0.5	r = 0.5	0.25 RR	0.50 Rr	0.25 rr
				Cross-pollinated	(Discard)
After selection					
	R = 0.67	r = 0.33	0.45 RR	0.44 Rr	0.11 rr

結　　語

傳統作物育種雖因各該作物之繁殖方式、生長特性、被利用部份及各目標性狀遺傳機制之不同，在實際育種操作方法上或可能有所不同，但在遺傳操控方面所涉及之遺傳法則，則不論目標性狀之屬質的性狀或係量的性狀，則大致仍尊循：孟德爾及後來遺傳學者等之基本遺傳法則。本文即在討論作物育種中，質的性狀所遵循的此兩個重要之遺傳法則。經藉自花與異花授粉作物基因暨基因型在原始暨衍生族群之改變來數學地例釋此兩個遺傳法則。所舉例子說明在異花授粉族群中，授粉前施淘汰對基因頻度改變之效應為為授粉後施淘汰者之兩倍。就選拔族群中隱性基因型而言，自花授粉作物與異花授粉授粉前施淘汰一樣，均能在僅歷一個世代即可將該顯性等位基因自該族群中剔除。但，對顯性基因型行選拔則不然，因族群中異質植株之隱性等位基因為另一顯性等位基因所遮掩，而無法有效地自該族群中剔除該隱性等位基因。

參 考 文 獻

1.Allard, R. W. 1964. Principles of Plant Breeding. John Wiley&Sons,Inc., NY, 485pp.

2.Fehr, W. R. 1987. Principles of Cultivar Development. Vol. I. Macmillan Publ. Co., NY, 536pp.

3. Hartl, D. L., and A. G. Clark. 1989. Principles of Population Genetics. Sinauer Assocciate, Inc., Mass, 682pp.

蔬菜族群改良（玉米為例）

盧煌勝
台灣省農業試驗所

遺傳質改良

玉米植株與產量有關的性狀大多由一系列效果很小的微效基因所控制，而這些微效基因易受環境影響，故數量性狀之外表型經常呈現常態分布（圖1）產量是非常複雜的數量遺傳性狀，不易以混合法及一穗一行法來作有效的改良。惟有從：（1）應用數量遺傳原理植物族群的改良；（2）應用不同的交配型式及田間設計及資料分析；（3）使控制性狀之有利基因頻度不斷累積等三方面的配合運用。

玉米遺傳質的改良，通常以輪迴選種法(recurrent selection methods)為之，輪迴選種法與譜系法略有不同，輪迴選種法包括後裔的產生（同親兄妹、異親兄妹、自交後裔等）、後裔產量檢定試驗與選拔、及逢機交配基因重組等三個步驟(圖2)。三個步驟為一循環，同時必須繼續進行，直到所需之性狀達到某種程度為止。

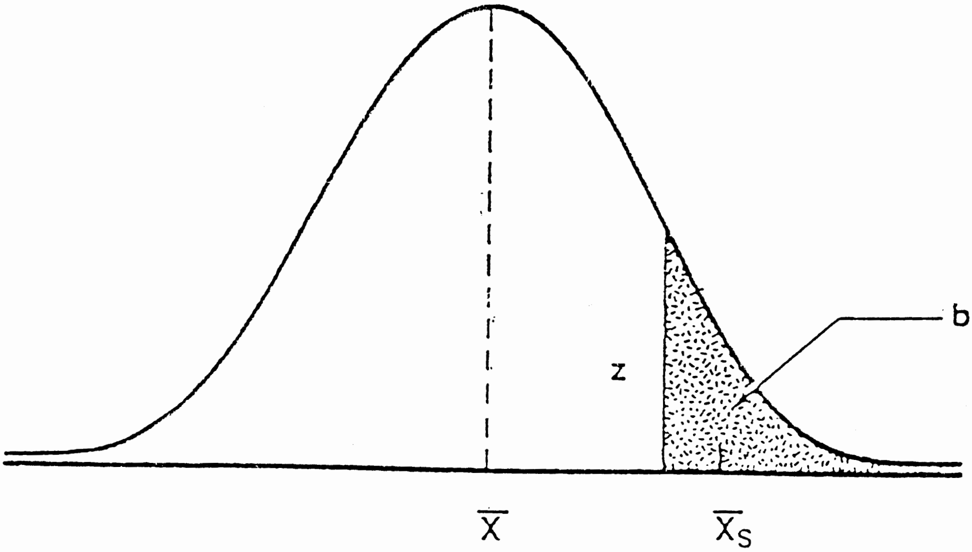


圖1. 數量性狀外表型之常態分布，X表族群平均，b為獲選部份，Xs為獲選部份之平均值，z為獲選與未獲選部份之臨界縱軸高度。

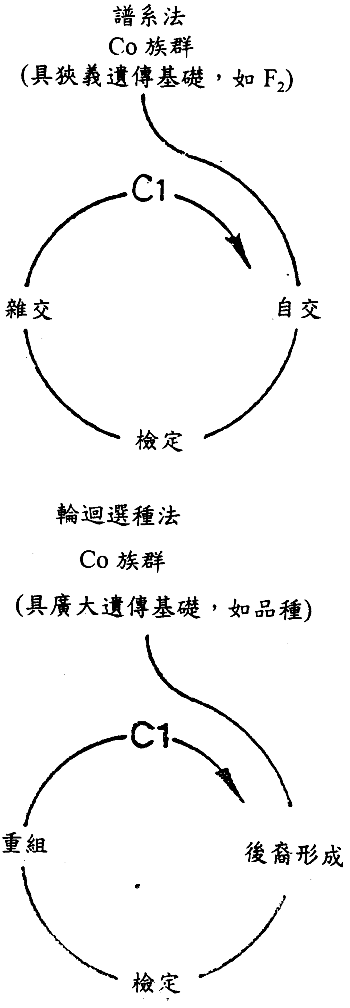


圖2. 譜系法及輪迴選種法改良玉遺傳質之循環程序

輪迴選種的目的有二：（1）增加族群中有利基因之頻度，使族群之平均值朝所要之方向移動；（2）經由優良個體間之逢機交配，以維持適當之變異，供繼續選拔之用。而開始族群材料的選擇、族群的大小、重組的方法以及栽培管理均會影響輪迴選種方法之成效。依改良目標、後裔型式（評估對象）、花粉親控制與否及逢機交配材料等之不同，過去學者所使用之輪迴選種方法列如表1，以供參考。

輪迴選種可分為兩大類別，其一為族群內改良(intrapopulation improvement)，其二為族群間改良(interpopulation improvement)。族群內改良在於使族群本身及由其產生之自交系獲得最大改良；而族群間改良則在於使兩族群間雜交種及兩族群產生之自交系間之雜交種，獲得最大改良。

表 1. 玉米族群改良之輪迴選拔方法

選拔法	評估之後裔	重組之後裔	重組後裔之花粉控制係數(c)	參考文獻
族群內改良				
混合法				
改良式	單株	單株	族群(c=0-0.5)	Original method
不選拔父本	單株	單株	族群(c=0.5)	Gardner 1961
選拔父本	單株	單株	獲選植株(c=1.0)	Eberhart 1970
異親兄妹				
穗行法	異親兄妹	異親兄妹	族群(c=0-0.5)	Hopking 1899
改良式	異親兄妹	異親兄妹	族群(c=0.5)	Lonnquist 1964
再改良式	異親兄妹	異親兄妹	獲選異親兄 妹(c=1.0)	Compton and Comstock 1976
一般組合力	異親兄妹	異親兄妹		Jenkins 1940
	異親兄妹	異親兄妹	獲選異親兄妹(c=1.0)	
	異親兄妹	自交第一代	獲選異親兄妹之自交第一代(c=2.0)	
特定組合力	異親兄妹			Hull 1945
	異親兄妹	異親兄妹	獲選異親兄妹(c=1.0)	
	異親兄妹	自交第一代	獲選異親兄妹之自交第一代(c=2.0)	
同親兄妹				
	同親兄妹	同親兄妹	獲選同親兄妹(c=1.0)	Moll & Robinson 1966
	同親兄妹	自交第一代	獲選同親兄妹之自交第一代(c=2.0)	Sprague & Eberhart 1977

選拔法	評估之後裔	重組之後裔	重組後裔之花粉控制係數(c)	參考文獻
自交系				
自交第一代	自交第一代	自交第一代	獲選之自交第一代(c=1.0)	Eberhart 1970
自交第二代	自交第一代	自交第一代或第二代	獲選者(c=1.0)	
自交第n代	自交第n代	自交第n代	獲選者(c=1.0)	
單粒後裔法	自交第n代	自交第n代	獲選者(c=1.0)	Brim 1966
族群間改良				
相互異親兄妹輪迴選拔法				Comstock *et al.* 1949
剩餘之異親兄妹	異親兄妹	異親兄妹	獲選異親兄妹(c=1.0)	
自交第一代	異親兄妹	自交第一代	獲選異親兄妹自交第一代(c=2.0)	
剩餘之異親兄妹	異親兄妹	異親兄妹	獲選異親兄妹(c=1.0)	Paterniani & Venconsky 1977
剩餘之異親兄妹	異親兄妹	異親兄妹	獲選異親兄妹(c=0.5)	Paterniani 1978
自交系檢定親	異親兄妹	自交第一代	獲選異親兄妹之自交第一代(c=2.0)	Russell & Eberhart 1975 Comstock 1979
同親兄妹相互輪迴選拔法				
同親兄妹	同親兄妹	自交第一代	獲選同親兄妹之自交第一代(c=2.0)	Hallauer & Eberhart 1970
同親兄妹	同親兄妹	多樣的	獲選後裔(c=0.5-2.0)	Marquez-Sanchez 1982

一、族群內改良方法

1.混合選種法(mass selection)

玉米之混合選種法為最古老之育種方法，選拔單位為單株。本法僅根據植株及果穗外表型選拔較優單株，收穫後果穗脫粒，將每果穗之等量種子加以混合。本法對遺傳率高之性狀選拔較為有效，但對產量之改進較不明顯。混合選拔一直用於玉米族群改良，其效果優劣端視選拔性狀遺傳率的高低、適當的隔離及試驗的精密度而定。

2.異親兄妹選種法(half-sib selection)

異親兄妹選種法比其他方法較常用於族群改良。通常其檢定親可為遺傳背景較窄之自交系，或遺傳背景甚廣之自然授粉品種、合成品種、綜合品種。檢定親的選拔依育種計畫目標及與雜種優勢相關之基因作用型式而定。如果所採用的檢定親並非自交系時，宜取較多的配子樣本以供雜交，藉使其具代表性。程序上，利用異親兄妹作多重複的產量比較試驗後，優異後裔基因型得以正確評估，下一季再把獲選優良後裔之剩餘種子或其自交種子，種植在一起令其互交以產生下一循環選拔所需之種子。

（1）穗行法(ear to row)

穗行法可分為兩種，一種為 Hopkin 早期用於改良玉米籽粒化學組成之方法。族群中之果穗，每穗於次代種一行。穗行法之選拔單位是後裔（一穗之異親兄妹系統），而非如混合法之選拔單位為單株。此法亦需適當隔離以防止其他品種花粉的混雜污染。通常其效果依性狀受環境影響的大小而定，受環境影響小者，效果較明顯。另一種為改良式之穗行法 (modified ear to row) 與穗行法相類似，只是採較多不同環境來評估穗行後裔，準確性因而增加。本法仍屬異親兄妹選種法的一種變型而已。

（2）測交檢定法(testcross)

本法依據測交檢定的結果進行選拔，在玉米的改良上經常使用，也是異親兄妹選種法的一種變型。如果當測交檢定法使用的檢定親為族群時，其期望遺傳增進量 (expected genetic advanve) 與異親兄妹選種法相類似。通常此兩種方法都使用共同的檢定親，主要用於生產測交種或異親兄妹後裔，以便進行後裔的評估及選拔。當檢定親作為父本時，則獲選後裔剩餘的種子可作為逢機交配材料，以進行重組。如果檢定親作為母本，則獲選之後裔可自交，再把S_1種子種植進行逢機交配，形成下一循環之族群。

3.同親兄妹選種法(full-sib selection)

同親兄妹選種法之雜交後裔具有相同的父母本，此與異親兄妹選種法只有一個親本相同的差異。同親兄妹後裔的產生，係經由二植株間之雜交。其選拔主要是根據雜交種之多重複產量試驗評估結果，然後把選留後裔的種子

種植混交，使其重組形成下一循環之族群。Hallauer 和 Eberhart (1970)建議在多穗型之族群中採用此法，每個植株並一舉完成同親兄妹後裔及自交種子生產，同親兄妹後裔作為評估之用，而自交種子作為重組之材料。由於受限條件較多，同親兄妹選種法所使用之頻率遠不及異親兄妹選種法。

4.自交後裔選種法(selfed progeny selection)

此法通常以自交一代 (S_1) 或自交二代 (S_2) 的後裔進行評估選拔。利用此法的優點為：可使自交後裔不良之穩性基因暴露出來，加以淘汰，同時可增加後裔間之遺傳變異性。缺點為：其世代間隔較長 (需考濾不良季節與氣候下的生長及保護) ，S_1及S_2後裔評估可能有較大的試驗誤差存在，以及在較高世代重組時可能有連鎖及自交效應出現。因此，在玉米育種上，本法並不如上述混合法、異親兄妹選種法及同親兄妹選種法之應用為普遍。

二、族群間改良方法

族群間的改良主要以輪迴選種為架構，基於檢定親的不同，可有幾種不同的形式。一般而言，與族群內改良之各種輪迴選種法類似，只是改良之對象係同時改良相對之二個族群而已。

1.相互輪迴選種法(reciprocal recurrent selection, RRS)

Comstock等(1949)首先提出相互輪迴選種法改良族群的產量。相互輪迴選種法係以A族群當B族群之檢定親，而B族群為A族群之檢定親。

2.同親兄妹相互輪迴選種法(reciprocal full-sib recurrent selection)

其步驟及型式與相互輪迴選種法類似，只是受檢親及檢定親為單株，同親兄妹交配之後裔由二個相對族群中之單株相互雜交產生。

3.自交系為檢定親之相互輪迴選種法(RRS with use of inbred lines as testers)

Horner(1985)提議以自交系當作檢定親，其步驟及型式與相互輪迴選種法類似，不同點在於以相對的兩個族群所育成之自交系，互為檢定親而已。

族群改良成功實例

玉米族群改良，由於改良性狀的遺傳率高低不一，使改良的效果具有差別，遺傳率高者或經2～3次循環即可達到改良目的；而遺傳率低者，則須經較長的時間才能達到效果。Sprague和Eberhart (1977)與Hallauer和Miranda(1981)綜合各種輪迴選種法對產量所獲的效果的研究，指出大部份方法可使一個循環增加2～4%之產量。

一、族群內改良

1.混合選種法

Salazar和Hallauer(1986)採用此法對玉米穗長經十五個循環之雙向選拔結果，顯示本法可有效增加及減少穗長(圖3)。

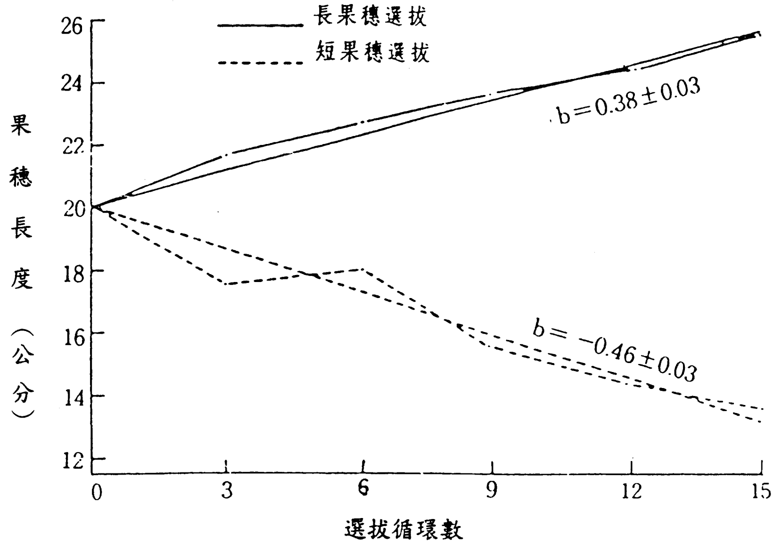


圖3. Iowa Long Ear Synthetic經雙向選拔後穗長之變化情形
(仿Salazar & Hallauer 1986)

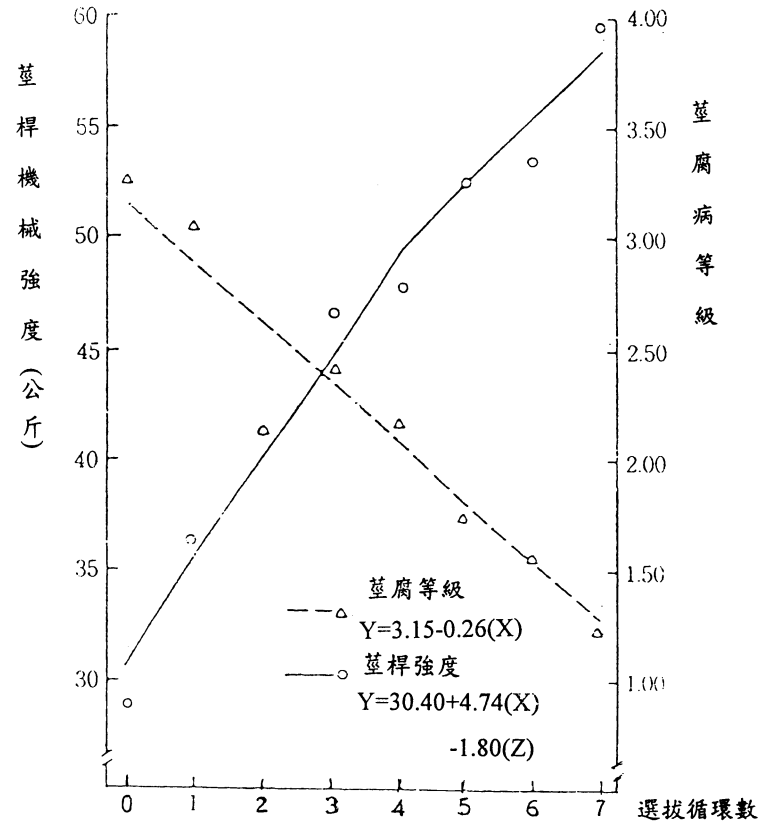


圖4. Lancaster經選拔後莖稈強度及莖腐病之變化（仿Devey& Rusell 1983）。

表2. 族群Krug Hil Syn. 3(BSK)經異親兄妹(HI)及S_1(S)輪迴選拔後其族群本身、自交後裔及雜交組合間之選種結果

選拔	BSK (S)		BSK (S)× BSK (HI)		BSK (HI)	
循環數	族群本身	自交後裔	族群本身	自交後裔	族群本身	自交後裔
			籽粒產量LSD (0.05) = 0.79公噸 / 公頃			
C_0	4.87	2.77	4.87	2.77	4.87	2.77
C_4	6.21	3.90	6.16	4.08	5.29	3.19
C_8	6.01	4.13	7.11	4.36	6.45	3.91
+	23.4	49.1	46.0	57.4	32.4	41.2
			籽粒含水率 LSD (0.05) = 1.3 %			
C_0	22.1	22.4	22.1	22.4	22.1	22.4
C_4	21.7	22.1	21.8	21.8	21.8	22.4
C_8	22.1	21.7	22.2	22.2	23.4	22.8
+	0	-3.2	0.4	-0.9	0.06	1.8
			根倒伏 LSD (0.05) = 10.0 %			
C_0	25.6	24.4	25.6	24.4	25.6	24.4
C_4	8.9	5.8	15.0	17.1	25.3	24.0
C_8	2.6	2.4	9.5	5.2	17.0	15.0
+	-89.8	-90.2	-62.9	-78.7	-33.6	-38.1
			莖桿倒伏 LSD (0.05) = 8.9 %			
C_0	41.4	40.4	41.4	40.4	41.4	40.4
C_4	39.0	41.0	48.7	46.8	39.9	39.8
C_8	51.7	49.9	46.0	49.1	36.0	34.1
+	24.9	23.5	11.1	21.5	-13.0	-15.6
			株高 LSD (0.05) = 9.4 公分			
C_0	232	210	232	210	232	210
C_4	227	209	231	212	230	216
C_8	227	210	234	195	213	200
+	-1.2	0	0.9	-7.2	-8.2	-4.8
			開花期 LSD (0.05) = 1.9 日			
C_0	21.5	23.8	21.5	23.8	21.5	23.8
C_4	19.8	21.0	19.0	22.5	20.5	22.8
C_8	20.3	21.8	17.5	20.5	20.6	22.5
+	-5.6	-8.4	-18.6	-18.9	-4.2	-5.5

2.後裔選種法

Devey和Russell (1983)利用S_1後裔選種法，將Lancaster天然授粉品種作七個循環之改良，結果其莖腐病由C_0的3.27級減至C_7的1.33級，效果極為明顯。而莖稈強度亦由C_0之28.7公斤增至C_4之47.0公斤，以及C_7之59.6公斤，增加極為明顯(圖4)。

3.異親兄妹選種法及自交後裔選種法

Tanner和Smith (1987)利用異親兄妹（HI）及自交後裔（S）選種法，針對族群BSK就產量進行改良，經八個循環BSK(S)C_8產量比BSK C_0增加23.4%，而BSK(HI)C_8增加 32.4% (表2)。其中自交後裔選種法每循環增加2.9%，而異親兄妹法每循環增加4.0%。兩種方法效果之差異，可能由於有效族群大小不同所造成，同時當性狀之控制基因以超顯性較重要時，則異親兄妹選種法也較為有效。

4.同親兄妹選種法

Moll和Hanson(1984)以Jarvis、 Indian Chief及Jarvis X Indian Chief為材料，經十個循環之同親兄妹選種法改良籽粒產量。結果 Jarvis每循環增加2.62%，而Indian Chief為0.65%。雜交種Jarvis X Indian Chief平均雜種優勢由C_0的13.5%增至C_{10} 的19.7%(表3)。

表 3. 族群 Jarvis 及 Indian Chief 經十個循環之同親兄妹輪迴選拔後其籽粒產量之反應 (Moll & Hanson 1984)

選拔循環數	Jarvis		Indian Chief		Jarvis × Indian Chief	
	試驗 1	試驗 2	試驗 1	試驗 2	試驗 1	試驗 2
	公噸／公頃					
C_0	5.02	7.36	5.77	8.54	6.22	8.93
C_4	5.69	-----	5.67	-----	6.85	-----
C_8	6.79	9.03	6.48	8.49	7.45	10.77
C_{10}	6.57	8.85	6.41	8.92	7.35	11.18
C_8和 C_{10} ≠	-----	8.94	-----	8.70	-----	10.98
b，公噸／公頃／輪迴	0.176	0.166	0.081	0.025	0.122	0.226
改變量(%)§	30.9	21.5	11.1	1.9	18.2	23.0

－：數據無法取得。

≠：合併 C_8 及 C_{10} 之數據。

§：相對於C_{10}或C_8與C_{10}之改變量。

另外CIMMYT(1982)的育種專家，以Tuxpeno Crema 1為材料，經二十個循環的同親兄妹後裔選種。結果收穫指數(HI)由0.30 增至0.49，而株高減少47.6%，籽粒產量增加67.7%，總乾物重則減少9%表(4)。

表 4. 族群 Tuxpeno Crema 經親兄妹輪迴選拔後之株高變化(CIMMYT 1982)

選拔循環數	株高	籽粒產量	總乾物量	收穫指數
	公分	—— 公噸／公頃	——	
0	273	4.05	14.94	0.30
6	211	5.54	14.75	0.38
9	203	5.67	15.32	0.39
12	196	6.18	15.37	0.41
15	173	6.73	15.12	0.46
17	156	6.23	13.10	0.47
20	143	6.79	13.60	0.49
b1	-6.1 ± 0.5	0.12 ± 0.02	-0.07 ± 0.05	0.020 ± 0.005
改變量%	47.6	67.7	-9.0	63.3

另外CIMMYT(1984)以8個熱帶玉米族群為材料，經四及五循環之同親兄妹選種，以籽粒產量為主要選拔性狀。結果籽粒產量平均增加5.9%，即每個循環增加1.3%。同時，每循環開花期提早0.6%，植株高度減少1.1%，穗位高減少1.8%，每株穗數增加0.9% (表5)。

表 5. 八個熱帶玉米族群經同親兄妹輪迴選拔後之籽粒產量、吐絲期及株高之變化(CIMMYT 1984)

選拔循環期	性狀		
	籽粒產量 (公噸／公頃)	吐絲期 (天)	株高 (公分)
C_0	5.88	67.2	229.2
C_4-C_5 +	6.23	65.4	218.4
效果 %	5.93	-2.6	-4.6
變域 %	0.16~9.46	-4.4~1.4	-9.0~3.8
效果／循環 %	1.27	-0.6	-1.0
變域 %	0.03~1.89	-0.9~0.3	-1.9~0.8

+： C_4為 3 個族群之平均， C_5則為 5 個族群之平均。

二、族群間改良

1.相互輪迴選種法

Moll和Hanson (1984)以Jarvis及Indian Chief二族群為材料，針對籽粒產量及單株穗數進行十個循環之相互輪迴選種。Jarvis、Indian Chief及Jarvis X Indian Chief之籽粒產量在第一個試驗中分別增加26.7%、減少7.1%及增加

19.8%。第二個試驗中分別增加22.0%、減少11.6%及增加20.9%。單株穗數在第一個試驗中分別增加64.6、19.2及32.8%；第二個試驗分別增加64.4、17.4及38.9%。產量雜種優勢由Co之13.8% 增加至C_{10}族群的28.9%(表6)。

表 6. 族群 Jarvis 及 Indian Chief 經十個循環之相互輪迴選拔後，穗數及籽粒產量之選拔效果(Moll & Hanson 1984)

選拔循環數	籽粒產量			單株穗數		
	Jarvis	Indian Chief	Jarvis by Indian Chief	Jarvis	Indian Chief	Jarvis by Indian Chief
	公噸／公頃			No.		
試驗 1						
C_0	5.02	5.77	6.22	0.99	1.30	1.25
C_4	5.49	5.57	6.48	1.23	1.41	1.37
C_8	6.59	5.43	7.77	1.54	1.46	1.56
C_{10}	6.36	5.36	7.45	1.63	1.55	1.66
b^+	0.157	-0.041	0.153	0.066	0.023	0.041
效果%$^{\neq}$	26.7	-7.1	19.8	64.6	19.2	32.8
試驗 2						
C_0	7.36	8.54	8.93	1.01	1.38	1.29
C_8	9.31	7.76	10.77	1.63	1.50	1.75
C_{10}	8.66	7.34	10.84	1.68	1.73	1.83
C_8+C_{10}	8.98	7.55	10.80	1.66	1.62	1.79
b^+	0.162	-0.114	0.202	0.070	0.029	0.055
效果%$^{\neq}$	22.0	-11.6	20.9	64.4	17.4	38.9

＋：b 值為籽粒產量(公噸／公頃／循環)與單株穗數(穗／株／循環)之複迴歸數。
≠：為最後選拔循環比較C_0之平均改變量。

2.同親兄妹相互輪迴選種法

Hallauer(1984) 利用 Iowa Two-ear Synthetic (BS10) 及 Pioneer Two-ear Composite (BS11)，經七個循環對籽粒產量選拔，結果 BS10 x BS11、BS10及BS11每循環增加2.1、2.7及2.4%。而雜種優勢的表現，也由$C_0 \times C_0$的6.3%增加至$C_7 \times C_7$的28.4%。與六個對照比較，同親兄妹後裔已自低於三個標準偏差改變為高於三個標準偏差(圖5)。

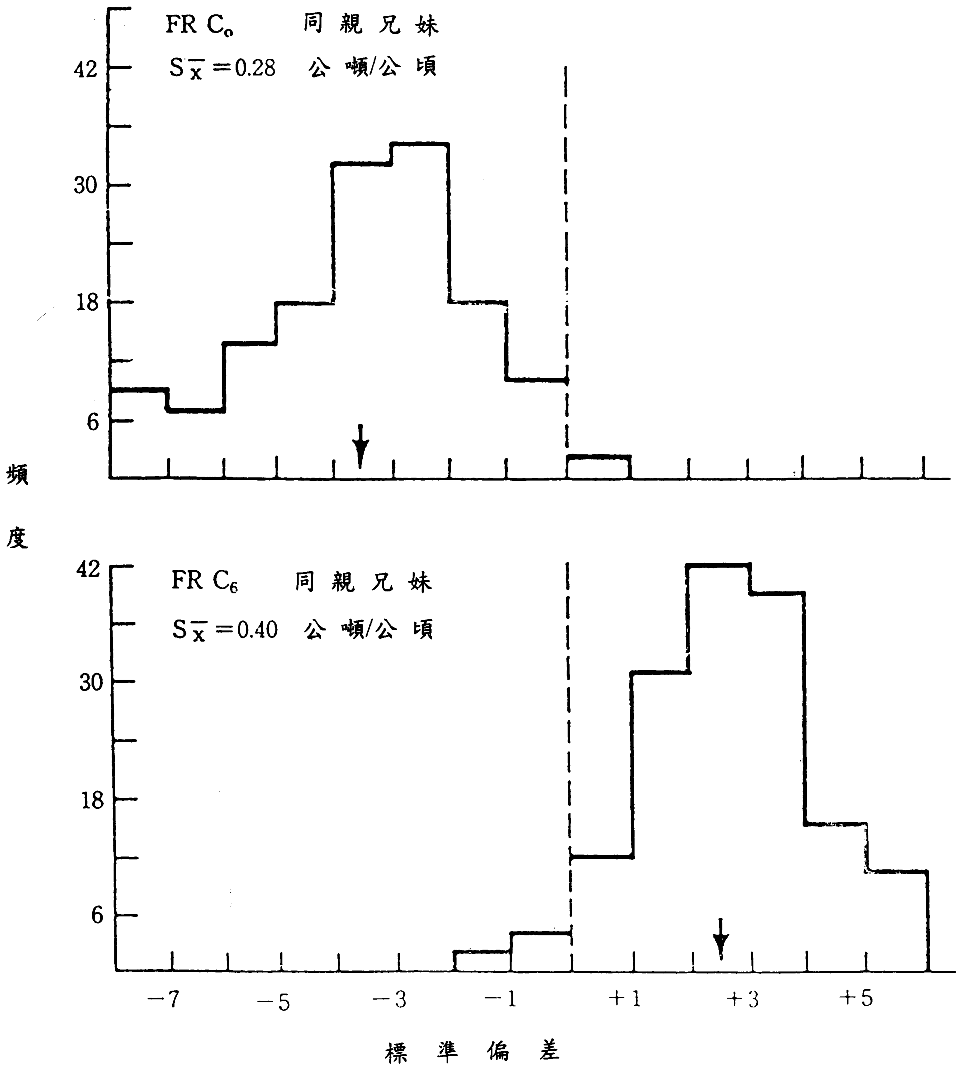


圖5. 六個對照品種與C_0及C_6（同親兄妹輪迴選拔）之籽粒產量分布情形（仿Hallauer 1984）

三、不同輪迴選種法之效果比較

經許多學者研究顯示，當累加性遺傳變方較為重要時，以譜系法或混合法皆可達到相當之改良效果；當非累加性遺傳變方的顯性部份佔較重要時，則以相互輪迴選種較為有效。 Janes等(1971)比較同親兄妹相互輪迴選種與異親兄妹相互輪迴選種法之效果，認為效果的大小受選拔強度(selection intensity)及環境變方(environment variance)所影響。當環境變方大於遺傳變方時，在較低之選拔強度下，以同親兄妹輪迴選種法較異親兄妹輪迴選種法為有效。West等(1980)比較S_1後裔選種法與同親兄妹選種法之效果，指出前者較為有效。

四、改良族群之利用

經輪迴選種改良後之族群，可分離自交系育成雜交種或合成品種，如B14與B37分離自B13之C_0族群；其後B73來自C_5；B84來自C_7。愈後來之自交系，往往具有更高之組合力，B84 X Mo17、B73 X Mo17及B37 X Mo17三個單交之中，表現以B84 X Mo17居首，B73 X Mo17其次(表7)。改良族群亦可直接利用綜合品種。

表 7. 四個雜交種在 lowa 四個地點進行十年(1976-1985)試驗之農藝性狀平均值+

雜交組合	籽粒產量	籽粒含水率	倒伏		掉落穗
			根	莖	
	公噸／公頃		%		
B14A × Mo17	7.28	20.6	11.4	7.6	1.0
B37 × Mo17	7.74	22.6	16.4	16.6	1.2
B73 × Mo17	8.51	22.4	15.2	9.8	1.7
B84 × Mo17	9.56	22.9	12.1	10.8	0.8
LSD (0.005)	0.38	0.5	4.8	3.8	----

+ 37 個循環(地區×年度)；其中三個試驗不計。產量： B84>B73>B14A=12.3 ， 10.0及 6.3 %。

五、影響選拔效果的因素

期望遺傳增進量之一般公式為$G = CK\sigma_A^2/Y\ \sigma_F$，其中G為每年期望增進量，C為親本控制程度，K為選拔強度，σ_A^2為累加性變方，σ_F為選拔性狀之外表型偏差，Y為完成一個循環所需之年限。由此公式可知影響遺傳進量的因素至少包括七項：

1.親本控制值

在單親混合選種法為1/2，雙親混合選種法為1。同理，根據S_1後裔及同親兄妹選種法之C值，必較異親兄妹選種法之C值為高。

2.選拔強度

當選拔強度增大時，K值增大。選拔強度為2、5、10及20%，則K值分別為2.42、2.06、1.75、及1.40。較大的選拔強度容易造成近交退化，較小的選拔強度增進量則小。理想的選拔強度，通常認為在10-20%之間。

3.基因作用型式

累加性及非累加性變方成份大小將明顯影響遺傳增進量。一般累加性變方比例較大時，其遺傳增進量也大。

4.每循環所需之年數

完成一個循環所需之年數越多，則換算為每年之增進量通常變少。

5.基因型評估的準確性

適當而謹慎的設計，且在多地點進行試驗，將較有利於遺傳增進量的準確評估。

6.有效族群的大小

較大的有效族群可提供較大的遺傳變異性，如此才較有機會選獲理想之基因型。一般有效族群的大小，混合選種法＞異親兄妹選種法＞同親兄妹選種法＞自交後裔選種法。

7.性狀的相關程度

性狀間遺傳相關大小會影響選拔效果。同時選拔幾個性狀時，其遺傳增進量一般較單一性狀選拔時為小。

參考文獻

Allard, R. W., and A. D. Bradshaw. 1964. Implication of genotype-environmental interactioa in applied plant breeding. Crop Sci. 4:503-508.

Bailey,L. H. 1949. Manual of cultivated plants. Macmillan Co. New York. pp. 142 - 143.

Baker, R. 1984. Some of the open pollinated varieties that contributed the most to modern hybrid corn. In:Twentieth Annual Illinois Corn Breeders School. pp. 1-19

Brandolini, A., and F. Salamini, 1985. Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. Florence and Bergamo, Italy.

Buaman. L. F. 1981. Review of methods used by breeders to develop superior corn inbreds. Proc. Annu. Corn Sorghum Ind. Res. Conf. 36:199-208.

Cohen, J. I. 1982. Evaluating alien germplasm for the improvement of maize hybrids. Ph. D thesis, Univ. of Mass.

Comptock, R. E. 1979. Inbred lines vs, the populations as testers in reciprocal recurrent selection. Crop Sic. 19:881-886.

Compton, W. A., and R. E. Comstock. 1976. More on modified ear-to-row selection. Crop Sci. 16;122.

Comstock, R. E., H. F. Robinson, and P. H. Harvey. 1949. A breeding procedur designed to make maximum use of both general and specific combining ability. Agron. J. 41:360-367.

Darrah, L. L., and M. S. Zuber. 1986. 1985. United States farm maize germplasm base and commercial breeding strategines. Crop Sci. 26:1109-1113.

Devey, M. E., and W. A. Russell. 1983. Evaluation of recurrent selection for stalk quality in a maize cultivar and effects of other agronomic traits. Iowa State J. Res. 58:207-219.

Dudley, J. W. 1982. Theory for transfer of alleles.Crop Sci. 22:631-637

Dudley, J. W. 1984a. A method of identifying lines for use in improving parents of a single cross. Crop Sci. 24:355-357.

Dudley, J. W. 1984b. A method of identifying populations containing favorable alleles not present in elite germplasm. Crop Sci. 24:1053-1054.

Dudley, J. W. 1987a. Modification of methods for identifying populations to be used for improving parents of elite single croses. crop Sci. 27:940-943.

Dudley, J. W. 1987b. Modification of methods for identifying inbred lines useful for improving parents of elite single crosses. Crop Sci. 27:944-947.

Dudley, J. W. 1988. Theory for identification of lines or populatiOns useful for improvement of elite single crosses. pp. 451-461. In: B. Weir (ed.) Proc. Ind. Int. Conf. on Quantitative Genetics, Raleigh, NC. 1-5 June. 1987.Sinauer Assoc., Sunderland, HA.

Eberhart, S. A. 1970. Factors affecting effifiencies of breeding mehods. Afr. Soils 15:669-680.

Elston, R. C. 1963. A weight free index for the purpose of raking, or selection with respect to several traits at a time. Biometrics 19:85-97.

Fehr, W. R. 1984. Genetic contributions to yield grains of five major crop plants. Crop Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin, USA. pp. 15-48.

Gallais, A. 1987. Heterosis: its prediction and utillization in plant breeding Heredity 59:312-313.

Gama, E. E. G., and A. R. Hallauer. 1977. Relation between inbred and hybrid traits in maize. Crop Sci. 17:703-706.

Gardner, C. O. 1961. An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. Crop Sci. 1:241-245.

Goodman, M. M. 1985. Exotic maize germplasm: status, prospects, and remedies. Iowa State J. Res. 59:497-527.

Griffing, B., and H. Zsiros. 1971. Heterosis associated with genotype- environment interactions. Genetics 68:443-445.

Hallauer, A. R. 1984. Reciprocal full-sib selection in maize. Crop Sci. 24:755-759.

Hallauer, A. R. and S. A. Eberbart. 1966. Reciprocal full-sip selection. Crop Sci. 10:315-316.

Hallauer, A. R., and E. Lopez-Perez. 1979. Comparisons among testers for evaluating lines of corn. Proc. Annu. Corn sorghum Ind Res. Conf. 34:57-72.

Hallauer, A. R., and J. B. Miranda, FO. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.

Hazel, L. N. 1943. The genetic basis for constructing selection indices. Genetics 28:476-490.

Hull, F. H. 1945. Recurrent selection and specific combining ability in corn J. Am. Soc. Agron. 37:134-145.

Jones, L. P .,W. A. Compton, and C.O. Gardner. 1971. Comparison of full and half-sib reciprocal recurrent selection. Theor. Appl. Genet. 41:36-39.

Kauffmann, K. D .,C. W. Crum, and M. F. Lindsey. 1982. Esotic germplasm in a corn breeding program. Ⅲ. Corn Breeder's School 18:6-39.

Klenke, J. R., W. A.Russell, and W. D. Guthrie. 1986. Recurrent selection for resistance to European corn borer in a corn synthetic and correlated effects on agronomic traits. Crop Sci. 26:864-868.

Lonnquist, J. H. 1964. A mosification of the ear-to-row procedure for the improvement of maize populations. Crop Sci. 4:227-228.

Marquez-Sanchez, F.1982. Modifications to cyclic hybridization in maize with single-eared plant. Crop Sci. 22:314-319.

Martin, M. J., and W. A. Russell. 1984. Correlated responses of yield and other agronomic traits to recurrent selection for stalk quality in a maize (Zea mays L.) synthetic. Crop Sci. 24:746-750.

Moll, R. H., and W. D. Hanson. 1984. Comparisons of effects of intrapopulations vs interpopulation selection in maize. Crop Sci. 24:1047-1052.

Moll, R. H., and H. F. Robinson. 1966. Observed and expected response in four selection experiments in maize. Crop Sci. 6:319-324.

Moll, R. H., W. S. Salhuana, and H. F. Robinson. 1962. Heterosis and genetic diversity in variety crossed of maize. Crop Sci. 2:197-198.

Mulamba, N. N., and J. J. Mock. 1978. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (Zea mays L.) population by breeding for plant traits. Egypt. J. Genet. Cytol. 7:40-41.

Pandey. S., and C. O. Gardner. 1992. Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. Advances in Agronomy 48:1-87.

Paterniani, E. 1978. Phenotypic recurrent selection for prolificacy in maize. Maydica 23:29-34.

Paterniani, E. 1990. Maize breeding in the tropics. Critical Reviews in Plant Sciences 9:125-154.

Paterniani, E., and R. Vencovsky. 1977. Reciprocal recurrent selection in maize(Zea mays L.) based on testcrosses of half-sib families. Maydica 22:141-152.

Perkins, J. M., and J. L. Jinks. 1968. Environmental and genotype-environmental components of variability. Ⅲ. Multiple lines and crossess. Heredity 23:339-356.

Pesek, J., and R. J. Baker. 1969. Desired improvement in relation to selection indices. Can. J. Plant Sci. 49:803-804.

Prasad, S. K., and T. P. Singh. 1986. Heterosis in relation to genetic divergence in maize(Zea mays L.) Euphytica 35:919-924.

Richey, F. D. 1922. The experimental basis for the present status of corn breeding. J. Am. Soc. Agron. 14:1-17.

Russell, N., and M. Listman.1988. Recent advances in the conservation and utilization of genetic resources. Proc. Global Maize Germplasm workshop. CIMMYT. Mexico.

Russell, W. A. 1991. Genetic improvement of maize yield. Advances in Agronomy 46:245-298.

Russell. W. A., and S. A. Eberhart. 1975. Hybrid performance of selected maize lines from reciprocal recurrent and testcross selection programs. Crop Sci. 15:1-4.

Russell, W. A., and Veronica Machado. 1978. Selection procedure in the development of maize inbred lines and the effects of plant densities on the relationships between inbred traits and hybrid yield. Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn. Res. Bull. 585.

Salazar, A. M., and A. R. Hallauer. 1986. Divergent mass seiection for ear length in maize.Rev. Bras. Genet. 9:281-294.

Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity 29:237-245.

Smith, H. F. 1936. A discriminant function for plant selection. Ann. Eugen. 7:240-250.

Smith, J. C. S. 1985. Genetic variability within U. S. maize germplasm. II. Widely-used inbred lines 1970 to 1979. Crop Sci. 25:681-685.

Smith, J. C. S .,M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 1985. Genetic variability within U. S. maize germplasm. I. Historically important lines. Crop Sci. 25:550-555.

Sprague, G. F., and J. Dudley. 1988. Corn and corn improvement. 3rd ed Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA.

St. Martin, S. K., P. J. Loesch, Jr., J. T. Demopulos-Rodriguez, and W. J. Wiser. 1982. Selection indices for the improvement of opaque-2 maize Crop Sci. 22:478-485.

Tanner, A. H., and O.S. Smith. 1987. Comparison of half-sib, S1 recurrent Selection in Krung Yellow Dent maize populations. Crop Sci. 27:509-513.

Walden, D. 1978. Maize breeding and genetics. John Wiley & Sons, New York, USA.

Wellhausen, E. J. 1965. Exotic germplasm for improvement of corn belt maize. Proc. 20th Ann. Hybrid Corn 2nd Res. Conf. pp. 31-45.

Wellhausen, E. J. 1978. Recent developments in maize breeding in the tropics. In:Maize Breeding and Genetics. Walden, D. B. (ed.) pp. 59-84. Willy, New York.

West, D. R., W.A. Compton, and M. A. Thomas. 1980. Comparison of replicated S1 per se vs reciprocal full-sib index selection in corn. I. Indirect response to population densities. Crop Sci. 20:35-42.

Williams, J. S. 1962. The evaluation of a selection index. Biometrics 18:375-393.

蔬菜抗病育種

蕭吉雄、楊偉正、王三太
台灣省農業試驗所

前　　言

蔬菜種類很多，根據報導中國栽培的蔬菜約略統計共有 209 種，列屬 29 個科，而在台灣普遍栽培的蔬菜種類亦高達四十餘種以上，比較重要的蔬菜分屬於十字花科、葫蘆科、茄科、豆科、蔥科、菊科、傘形花科等，這些蔬菜均容易受到各種病原不同程度的危害，造成很大的損失。引起蔬菜發生病害的主要病原有真菌、細菌、病毒及線蟲四大類。例如十字花科的根瘤病、露菌病、黃葉病、菌核病、葉斑病；葫蘆科的白粉病、露菌病、蔓割病、蔓枯病、炭疽病、疫病、黑點根腐病；茄科之萎凋病、晚疫病、疫病、炭疽病、葉黴病；豆科之白粉病、立枯病、銹病、根腐病、炭疽病，角斑病、煤黴病；蔥科之露菌病、銹病、紫斑病；菊科之露菌病、菌核病、炭疽病；傘形花科黑斑病、斑點病等是由真菌所引起。而十字花科之黑腐病、軟腐病；葫蘆科之細菌性斑點病；茄科青枯病、細菌性斑點病、輪紋病；豆科之葉燒病、黃斑病；蔥科之軟腐病，則由細菌所引起，而在茄科、葫蘆科蔬菜發生極為普遍的根瘤線蟲病係由線蟲所致。病毒引起之病害在茄科的番茄、甜椒、辣椒、馬鈴薯；各種瓜類；十字花科的蘿蔔、芥菜、結球白菜；豆科的豇豆；蔥科的大蒜都是相當的嚴重。其中以土壤傳播性病原及病毒所引起之病害，利用藥劑防治效果不彰，栽培抗病品種是一個比較可行的辦法。

蔬菜的抗病育種在廿世紀初期，美國之西瓜、番茄、甘藍、豇豆等蔬菜及棉花和亞麻等產業原先受到土壤傳播性病害—蔓割病或萎凋病極大的威脅，最後因為育成了抗病品種而挽救了這些產業，有了萎凋病抗病育種的成功先例，進一步刺激了其他蔬菜作物的抗病育種工作的推展。

抗病性的類型

抗病性的觀念有廣義和狹義之分，從廣義上說，凡是某一作物不感染或不發生某一病害，或雖然發病但程度較輕，造成的經濟損失較小，都可以叫做抗病性。狹義的抗病性是指作物遭到病原物侵襲之後一種積極的、動態的反應，是指作物所具有的那些能影響病原菌所造成最終損失程度的遺傳性。廣義的抗病性可分成三類：(一)避病性（ disease escape ），即植物能夠逃避病原的感染。(二)耐病性（ tolerance ），植物對病原的感病性一如罹病品種，惟其恢復及再生能力較強或產量不受影響。(三)真抗病性（ disease resistance ），亦即植物在病原侵入後阻止其建立據點，抑制其在植株上生長或對其繁殖及散佈有妨礙作用，此即為狹義的

抗病性，植物對真菌所產生的三種抗病類型及其抗性機制可參考見圖 1.。目前對於抗病性的分類比較混亂，現依幾種主要分類法簡述如下：

圖 1. 植物對真菌產生的三種抗病類型及抗性機制

抗　病　性

- 避病性（寄主植物有逃避病原菌侵入的能力）
- 真抗性（對病原菌的侵入過程、生長、發育、繁殖能力產生不良影響）
  - 病原菌入侵前植物體內已存在之抵抗機制（有機械的及生理的）
  - 病原菌入侵後植物所產生的抗性機制（有機械的及生理的反應）
- 耐病性（寄主植物被病原菌侵入而發病，但產量及品質不受影響）

一、根據抗性的程度來分

1.免疫性（ immunity ）免疫是指某一品種在任何情況下對某一病害都完全不感染，而同類作物的其它品種則會感染這種病害。事實上，真正的免疫品種極為少見的。免疫性可以說是作物和病原之間具有不親和性所產生的一種現象，它和抗病性是不同的，而和感病性在程度上的區別是絕對的。

2.抗病性（ resistance ）抗病是指作物能抑制病原和病害發展的特性，根據作物在受到病原侵襲之後所表現的損失程度，又可區分為高抗、中抗和低抗，它和感病性只是程度上的差別，是相對的。

3.耐病性（ tolerance ）是指一個品種或植株當和另外的品種或植株同樣地受到病原侵襲以後，耐病的品種或植株並不是不表現症狀或不受損失，而只是對產量和品質無嚴重影響。

4.感病性（ susceptiblity ）所謂感病，是指作物品種極易受病原的侵襲，受害以後的損失達到一般品種的平均值或平均值以上。

二、根據抗性表現的形式來分

抗病性依表現型式可分三類，阻止入侵（這裡指病原菌全身性侵入和增殖時）或減少入侵型（阻止侵入型）、感染後能抑制病原菌在體內增殖的類型（抑制增殖型）和病原菌雖能正常增殖，但能抑制或延遲病症出現的類型（潛伏忍受型）。

1.阻止侵入型：在阻止侵入型中，有的完全不允許菌絲等侵入植物組織，有的可以允許菌絲侵入，但會立即將病灶封閉不允許病原菌增殖。

阻止侵入型的抗病機制與角質層的厚度和硬度、氣孔形狀和大小、厚膜組織的發達程度等有關。在蔬菜抗病性中屬於阻止侵入型的很少。但是對於以蟲為

媒介的病害，或者由蟲害所誘發的次生性障害，都能夠用避蟲的辦法阻止病原菌的侵入。例如最近危害限大的溫室粉蝨，其分泌物引起番茄、胡瓜的煤污病。而番茄近緣野生種 *Solanum pennellii*（它和番茄不同種，但比較容易和番茄雜交），從茸毛中分泌出粘稠的汁液，能防止溫室粉蝨的寄生，荷蘭等國已開始用於番茄育種。另有報導，番茄和甜瓜的品種間著生蚜蟲的多少，對傳播胡瓜嵌紋病毒（CMV）有很大差異。

抗病品種阻止病原菌侵入的方法最普遍的為過敏性致死反應（hypersensitivity）。當病原菌（真菌、細菌、病毒、線蟲等）侵入植物體時，其周圍組織迅速死亡而引起壞死，從而強化周圍組織，斷絕向病灶輸送養分，結果致病原菌本身死亡或失去活性。

過敏性致死反應常被誤解為只有抗病品種所持有的特有反應，實際正相反，它是植物界廣泛存在的普遍現象。例如把番茄和馬鈴薯等的疫病菌孢子接種在菜豆等作物的葉上，雖然菌絲能夠侵入，但由於被侵的幾個細胞立即死亡，阻止了其後的繼續增殖。簡單地說，過敏性致死反應可以認為是植物和微生物之間的一種普遍現象。而例外的不引起過敏性致死反應的微生物，可以說正是這種植物的病原菌。由於上述的過敏性致性死反應發生在單細胞，用肉眼不能辨認，所以至多出現一個相當大的壞死斑。在極端的情況下，有的壞死部分極大，甚至比全身感染被害還大。例如對抗具有煙草嵌紋病毒（TMV）基因 T_{m-2} 或 T_{m-2}^{a} 的異質結合的品種，在高溫下感染煙草嵌紋病毒時，就容易在生長點或果實上產生壞死，其危害程度就比全身感染嵌紋症狀更大。

以過敏性致死反應為代表的阻止感染型抗性，除非發生新的生理小種，否則在多數情況下完全不發病，可稱做真正的抗病性。

2.抑制增殖型：過敏性致死反應是完全不允許病原菌在作物體內增殖，而抑制增殖型抗病性則是限制病原菌在作物體內的增殖量。如果是莖葉病害形成的孢子著生在此型抗病品種上，經過發芽、擴展菌絲、形成病斑，再進一步產生傳染源的孢子，這個過程和在感病品種上的表現是一樣的。但病斑的數目、大小和再生產孢子量均較少或產孢所需時間較長，結果對作物的被害程度和蔓延程度，比感病品種明顯降低。作物組織內菌絲的伸長力、病斑上孢子形成的時間、單位病斑面積上的孢子數和該病斑上孢子形成的持續時間等，都與品種的被害程度和蔓延程度有關。抗病品種對這些主要因子中的幾個或所有因素均有某種程度的抑制效果，綜合起來就有很大的抑制增殖作用。這和前述真正抗病性的過敏性致死反應不同，這個類型的抗病性不是完全阻止病害的發生。直接用幼苗接種鑑定時，其抗病性也不明顯，一般多在田間栽培中和感病品種相比較時才能看出差異，所以有人把這種抗性叫做田間抗性（field resistance）。

3.潛伏忍受型：病原菌在植物體內的增殖和感病品種差異不大，通常不出現病症，或者即使有病症也很輕微或是在產量或品質上所受的影響較少，或是受感染發病後恢復較快，這樣的品種就叫做潛伏忍受型抗病品種。

潛伏忍受型在病毒病中較為常見，例如日本很早在促成栽培中沿用的草莓品種“福羽”，雖能感染各種病毒，但不出現明顯病症，即不易發生矮縮症狀，而一般草莓品種受到病毒感染容易產生矮縮現象，但這些症狀在著果過多或線蟲寄生而生長勢衰弱時也容易發生，生育條件好的“福羽”就不發生病毒症狀。因此“福羽”可以認為是對病毒有潛伏忍受型的品種。

具有 T_m 基因的番茄煙草嵌紋病抗性也多為潛伏忍受型，也就是說，把病毒接種在 T_m 型抗病品種時，根據不同的環境條件及接種不同的病毒系統，可分成(1)不感染，就是病毒不能在番茄體內增殖。(2)病毒可以在體內增殖，但不出現病症。(3)發病等三種類型。其中以(2)的潛伏忍受型為多。

三、根據抗性的遺傳方式來分

1.單基因抗性（ monogenic resistance ）即指參與抗病的基因只有一個，還可以根據抗病基因在異質結合狀態下表現為顯性或隱性分為單基因顯性或單基因隱性。

2.寡基因抗性（ oligoenic resistance ）指抗病性是由少數幾個基因控制的類型。

3.多基因抗性（ polygenic resistance ）指抗病性是許多個微效基因控制。

以上三種類型的蔬菜抗病品種舉例如圖 2.

四、根據病原生理小種分化難易來分

1.垂直抗性（ vertical resistance ）又稱小種特異抗性（ race specific resistance ）或專一抗性（ specific resistance ）。其特點是寄主植物對某些病原生理小種具有高度的抗性，而對另一些小種則高度感染，即對不同生理小種具有“特異”反應或“專一”反應。例如，具有 R_1 基因的馬鈴薯品種對於晚疫病病菌小種 1 是感病的，但對小種 2 卻是抗病的。具有 R_2 基因的馬鈴薯品種對於病菌小種 2 是感病的，但對小種 1 卻是抗病的。這就是“基因對基因”的觀念。所謂“基因對基因學說”（ gene for gene theory ）是佛洛爾（ Flor, 1942, 1946 ）首先在亞麻銹病研究發現寄主基因與病原基因相互作用的關係而提出來的，請參見表 1.。由於自然選擇或突變的作用，當一個主效基因控制的單基因遺傳的抗病品種出現後，病原中也將出現新的小種，其中帶有決定對這品種具有致病性的基因而能感染這個品種，寄主植物中隨著又可能出現抗新生理小種的品種，其中存在有決定對新生理小種具有抗性的基因，由此可見寄主植物中存在決定對一種病原具有抗性的基因，而病原也有相應的決定對這一抗病品種具有致病的基因。

2.水平抗性（ horizontal resistance ）這種抗性又叫一般抗性（ general resistance ）或非專一抗性（ nonspecific resistance ）。這種抗性對病原的不同生理小種沒有什麼“專一性”或“特異性”的反應。它對各種小種的反應大體上接近在一個水平上，故稱之為水平抗性。

垂直抗病性往往表現為過敏性壞死反應，抗病反應表現明顯，易於識別。垂直抗病性的遺傳往往是單基因或少數基因決定的簡單遺傳，雜種後代分離也較簡單明顯。

水平抗性包括過敏性壞死以外的多種阻止病原侵入或抑制增殖型的抗病性。其表現形式有感染率低，潛伏期長，產生孢子量少和孢子堆小等特點。水平抗性的表現不如垂直抗性那樣突出，多數表現為中等程度的抗病性。在遺傳上，水平抗性是由多數微效基因所決定的，屬於數量遺傳範疇。

表 1. 基因對基因理論（The gene-for-gene concept）

A. 寄主植物有一對抗感性基因且病原也具一對致病性基因

寄主植物之抗感性基因

病原之基因	R	r
A	A-R 抗病性	A-r 罹病性
a	a-R 罹病性	a-r 罹病性

B. 寄主植物與病原各具有二對對應的不同基因座相互作用所產生的抗性反應

病原基因	寄主基因	抗感性反應
A_1 A_2	R_1 R_2	抗病
A_1 A_2	R_1 r_2	抗病
A_1 A_2	r_1 R_2	抗病
A_1 A_2	r_1 r_2	感病
A_1 a_2	R_1 R_2	抗病
A_1 a_2	R_1 r_2	抗病
A_1 a_2	r_1 R_2	感病
A_1 a_2	r_1 r_2	感病
a_1 A_2	R_1 R_2	抗病
a_1 A_2	R_1 r_2	感病
a_1 A_2	r_1 R_2	抗病
a_1 A_2	r_1 r_2	感病
a_1 a_2	R_1 R_2	感病
a_1 a_2	R_1 r_2	感病
a_1 a_2	r_1 R_2	感病
a_1 a_2	r_1 r_2	感病

圖 2. 蔬菜抗病品種類型表

- 蔬菜抗病品種類型
  - 單基因
    - 顯性
      - 番茄：TMV、疫病[①]、葉霉病、黃萎病、斑點病、萎凋病[①]、根瘤線蟲病
      - 胡瓜：黑星病
      - 甜瓜：白粉病、蔓割病
      - 甘藍：黃葉病[①]
    - 隱性或接近隱性
      - 番茄：褐色根腐病[①]
      - 胡瓜：白粉病
  - 2-3 個基因：胡瓜、霜霉病、萎凋病
  - 多基因
    - 番茄：青枯病、疫病[①]、萎凋病[①]、潰瘍病、褐色根腐病[①]
    - 茄子：青枯病、黃枯病
    - 白菜：軟腐病
    - 甘藍：黃葉病[①]、根腫病
    - 蘿蔔：黃葉病、病毒病

註[①]這類病害有不同類型抗病品種

除了以上幾個主要分類外還有根據抗病的不同機制劃分為積極抗性（ active resistance ），即在寄主植物上受到病原菌感染以後產生的抗病反應。例如某些寄主植物在接種一定的病原後便會產生植物防禦素（ phytoalexins ）。消極抗性（ passive resistance ），即在病原侵入之前寄主植物本身已具有的抗病機制。例如由於寄主植物有比較厚的角質層，因而防止真菌的入侵或阻礙孢子的形成。

另外根據抗病性在植物不同生長階段表現 ，又可分為苗期抗性和成株抗性，又可統稱階段抗性（ stage resistance ）植物對某種病害有時在苗期表現更抗病或更感病，例如對一些土壤病害，往往在苗期表現為感病，而在成株階段則表現抗病。

抗 病 的 機 制

植物對於各種病害的抗病機制至今尚未完全弄清。許多研究結果表明，植物抵抗病原的侵襲有積極的和消極的兩個方面，包含著許多抗病因素，為了便於正確評價防禦系統中的這些因素，通常將它們劃分為預先形成的（消極的）和侵入誘發的（積極的）兩類，預先形成的抗病因素包括那些在植物未接觸病原之前已存在於植物本身的某些特性。侵入誘發的抗病因素，係指那些在植物受到侵入之前不具備或僅具低水平的，而在受到侵入時才產生或活化的那些因素。

植物體本身對病原具有抵抗的能力，基本上源自於(1)形態或構造上的防禦能力，如植物表皮細胞的蠟質或角質含量較多，葉片上氣孔的數目、排列方式或開閉時間，葉片上的絨毛的多寡、長短、絨毛的分泌物、葉片的排列、角度等，(2)化學的防禦能力，例如植物體的營養成分不符合病原需要、細胞滲透壓較高，產

生木質素、酚類化合物或其他抗生物質對病原菌的生長、發育及繁殖有不良的影響。植物的防禦能力有些是天生具來的，有些是在病原入侵後，植物才產生的反應。當病原入侵後，植物迅速產生一種防禦措施，使入侵部位的細胞或組織很快死亡，病原無法獲得營養或植物本身分泌有毒物質而殺死侵入之病原，這種反應稱為過敏性反應（ hypersensitivity ）。

一、預先形成的抗病因素

1.結構特徵

(1)角質層：抗病性與角質層厚度的直接關係尚無確切的証明。這可能由於角質層上只要有一小切口或裂縫，便給病原的入侵打開了門戶。加之，有些真菌似乎能夠利用它們的角質分解酶（ cutin-degrading enzymes ）使角質層分解。但一些研究表明，角質層的某些特性，如溫潤性（ wettability ）可能改變侵入率。例如，由於葉面的防水特性，使得那些由水滴攜帶的某些真菌的濕潤孢子不能停留在葉面上。有的植物的角質層含有能夠刺激或抑制某些真菌生長的物質。

(2)氣孔：氣孔的大小、形狀和行為已被証明與病菌必須通過氣孔侵入的一些病害的抗病機制有關。但科學家研究氣孔在抗菜豆細菌黑斑病（*Pseudomonas syringae* ）的作用時，認為在該寄主—寄生物體系中氣孔對抗性無關，因為菜豆的氣孔遠比細菌的體積大，不能阻止細菌的入侵。

(3)植物的絨毛：植物的絨毛有可能在抗病方面發揮作用，但迄今尚無直接証據，研究人員曾就植物結構特徵與抗病性的關係進行過綜合描述。認為很少証明單純依靠植物結構的特點就能防止病原的侵襲。然而許多研究顯示結構的特點有時可能成為抗病的基礎，確切的結論尚待今後的研究。

植物表面結構特徵在抗病方面的作用，可能是以相當精密的方式發生而不為一般肉眼所及。例如，病原穿入植物體內可能受到以下一些因素的影響，如表面角質層的蠟質構造，結構障礙的化學性質，保衛細胞的特點或葉面特徵等，而不是角質層的厚度和氣孔開放的程度。

有不少例子証明，植物結構特徵可能僅限於延緩病原的侵入，這種延緩對於有些植物的病害可能作用不大，但對另一些植物病害可能容許有時間誘發植物產生更為精密和有效的防禦反應。

2.預先形成的抗菌物質

許多預先形成的具有抗菌性質的物質都與植物的抗病性有關。這些物質通常在健康的植物中的濃度都較高,有時在植物受到侵入後,這些物質便轉化為更加有效的毒素，例如在有色（紅皮或黃皮）洋蔥的著色老化的外層鱗片中含有大量的兒茶酚（ catechol ）和原兒茶酸（ protocatechuric acid ）等，具有抗洋蔥炭疽病的作用。

在番茄和馬鈴薯中發現的配糖生物鹼，α-番茄素的含量比感病品種約多一倍。存在於十字花科蔬菜中的芥子油是異硫氰酸的配糖酯類，經酶水解後產生異硫氰酸鹽。大蒜所含的大蒜素（ allicin ）經酶水解為二烯丙基二硫化物。這些硫化物具有抗真菌和細菌的性質，但對於抗病作用還未完全肯定。

二、入侵誘發的抗病因素

1.物理特徵：除了前面所提的預先形成的防禦機制外，植物還具有種種其它物理和化學防禦體系，這些防禦體系是隨著病原入侵而活躍起來的。隨著侵入和損害的發生，植物不僅在細胞水平而且在胞器水平都發生物理性的改變，這是在遭遇寄生物之後很快開始的，反映高度複雜和協調的活動。這種物理性的變化是否由於防止病原入侵而有助於抗病已引起爭議。已經有人提出這類物理性障礙有時可能只是延緩了真菌的發展，容許有時間來活化那些非物理性質的防禦機制，如過敏反應和植物的抗病物質的累積。一些被認為在入侵後對抗病起重要作用的物理特徵有(1)周皮（ periderm ）和胼胝質（ callose ）、 (2)凝膠和侵填體（ tyloses ）、(3)細胞壁的木質化等。

2.化學特徵

(1)過敏反應：過敏反應是植物在受到病毒、真菌、細菌、線蟲的侵入以及許多非病原性的刺激的普遍反應。這種反應被認為是抗性反應，在於它能制止植物組織中入侵病原的生長和發展。帶有 R 基因的馬鈴薯塊莖對於晚疫病的抗性(不親和）反應就是一種過敏反應，其特點是有限的寄主細胞迅速死亡，組織變褐和積累對真菌有毒性的物質。病毒誘發的過敏反應，是和形成局部壞死相聯繫的，它限制了病毒的活動並抑制其增殖。

(2)過氧化物酶類：過氧化物酶存在於植物組織中，許多重要的生理過程都有這類酶的參與，例如吲哚乙酸和酚類化合物的氧化以及乙烯的生物合成等。認為過氧化物酶具有抗病力的假說是根據一些報導在誘發出抗性的一定組織中的過氧化物酶的活性提高。

(3)酚類化合物：許多酚類物質以及它們的氧化產物，如醌類，積聚在感病組織中，表現出抗菌特性，因此考慮其與抗病性有關。

(4)植物防禦素：植物防禦素（ phytoalexins ） 作為一種可能的抗病因素，已有許多人進行過較長時間的研究。這類物質是在植物受病菌或其它有害因素的刺激而產生和累積的，具有抗菌作用的低分子量物質，是植物在受侵入後的防禦反應，在生物化學上的一種重要因素。大約有 60 種不同的化學物質都具有類似植物防禦素的性質，包括有茄科植物產生的 Lectins 、 Tomatine 、 Solanine，豆科的 Pisatin 、 Phaseollin，十字花科的 Raphanin，旋花科及繖形花科的 Chlorogenic acid 等。其他的化合物質尚有 Tannins 、 Chaconie 、 Solasidine 、 Pipecolic acid 、 Capsidiol 、 Isoflvonone 、 Flavonoids 、 Terpenes 、 Coumarin 、 Eugenol 、 L-Pinene 、 Quencetin 、 Thymol 、 Vanillin 、 Catechol 、 Singrin 、 Gossypol 、 Juglone 及 Phorizidin 等。大約有屬於 12 個科的 100 個以上的物種都能產生植物防禦素。但是，植物防禦素對於植物和對於微生物來說，都不具有高度的特異性。一種植物防禦素往往對於多種微生物，特別是對於其它植物的病原菌，都具有抑制作用。一種植物能產生不只一種植物防禦素。不同種植物，特別是親緣相近的植物，受不同因素的刺激能夠產生相同的植物防禦素。

抗病材料的來源

尋求抗病材料為抗病育種的首要步驟，有了抗病材料才有可能進行抗病育種。抗病來源一般應先從現有栽培品種著手去尋找，因為現有栽培品種比較沒有適應性的困難，需要改良的性狀也比較少，其次，再由古老的地方品種或國外引進抗病的栽培品種或育種品系來篩選。由國外引進之抗病材料引入後不一定就呈抗病性，其中可能會因病原菌的生理小種（physiological race）及病毒的strain而影響其抗病性，因此引進之抗病材料必須再作抗病性檢定。若在栽培種中沒發現抗病材料時，才從野生種或近緣種中去尋找。野生種或近緣種甚或不同屬的物種中所獲得之抗病性成功轉移的例子雖不少，但在利用時則有一些限制，譬如需克服種間雜交不親和或後代不稔性的問題。在轉移抗病性時往往也有可能從野生種和近緣種引入一些不需要但和抗病性有連鎖的性狀。另外從野生或近緣種轉移來的抗病性屬於過敏性（hypersensitivity）機制的例子很多，這種抗病性多由一對或少數對基因所控制，容易產生抗病生理小種，而導致抗病性消失，一般而言，這種抗病性較不具持久性，馬鈴薯抗晚疫病 R 基因的利用早已經有這種情形發生。上述的材料都找不到抗病種源時，最後才試圖利用人工誘變的方法產生抗病基因。表 2.至表 9.列舉胡瓜、甜瓜、番茄、番椒、茄子、菜豆、豇豆及萵苣之部分病害的抗病來源。

目前聯合國糧農組織所屬各國際農業機構及歐、美、日等國對於作物種源的蒐集及保存均很重視，育種家可以從下列種源庫得到所需之作物種源。

1.International Center for Tropical Agriculture (CIAT)
主要收集菜豆屬作物
地址： Cali, Colombia

2.International Institute of Tropical Agriculture (IITA)
主要收集豇豆屬、甘藷及山葯等作物
地址： Ibodan, Nigeria

3.International Potato Center (CIP)
收集馬鈴藷
地址： Lima, Peru

4.Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC)
主要收集番茄、茄子、結球白菜、番椒屬及蔥屬等作物
地址：台灣省台南縣善化鎮，亞洲蔬菜研究發展中心

5.N. I. Vavilov All Union Institute of Plant Industry (VIR)
收集各類作物種源
地址： Herzen Street 44, 19000 Leningrad, Union of Soviet Socialist Republics.（前蘇聯）

6.National Vegetable Research Station (NVRS)
主要收集十字花科、傘形花科、蔥科等蔬菜
地址： Wellesbourne, Warwick CV35 9EF, U. K.

7.National Seed Storage Laboratory (NSSL)
收集各種作物種源
地址： USDA, Colorado State University, Fort Collins, Colorado 80523

8.Seed Storage Laboratory, National Institute of Agricultural Science. MAFF.
收集各種作物種源
地址： Ibaragi Prefecture, Japan

表 2. 胡瓜之抗病來源

Table 2. Sources of Resistance to Diseases in *Cucumis sativus*

Diseases	Pathogens	Sources of resistance
Anthracnose	*Colletotrichum lagenarium*	PI 197087
Downy mildew	*Pseudoperonospora cubensis*	PI197087
Powdery mildew	*Sphaerotheca fuliginia*	'Poinsett'. 'Yomaki' 'Spartan Salad' PI 197088
Cucumber scab	*Cladosporium cucuberinum*	'Wisconsin SMR 9' 'Wisconsin SMR 12
Angular leaf spot	*Pseudomonas lachrymans*	PI 169400 MUS 9402, Gy14A
Bacterial wilt	*Erwinia tracheiphila*	PI 200815. PI 200818. 79-48. 79-42-24
Cucumber green mottle mosaic	CGMMV	*Cucumis anguria*
Watermelon mosaic	WMV WMV-1 WMV-2	'Tablegreen' 'Surinam'
Cucumber mosaic	CMV	TMG 1

表 3. 甜瓜之抗病來源

Table 3. Sources of Disease Resistance in Muskmelon (*Cucumis melo*)

Diseases	Pathogens	Sources of resistance
Alternaria blight	*Alternaria cucumerina*	AC 82-37
Downy mildew	*Pseudoperonospora cubensis*	'Seminole' 'Edisto' AC 70-154 *C. callosus*
Fusarium wilt	*Fusarium oxysporum f. sp. melonis* race 2 *F. oxysporum f. sp melonis*	*C. melo* var. *reticulatus. inodorus. chito.* and *flexuosus* 'Delicious 51'
Gummy stem blight	*Mycosphaerella melonis* *Didylvnella bryomiae*	'Shiro-2', 'Korea 11', 'Early Forcing', 'PI 140471' 'Chilton', 'Gulf Coast' AC 70-154
Powdery mildew	*Sphaerotheca fuliginia* race -1	PMR 45, PMR 450 'Edisto' 'Campo', 'PMR 6' 'Georgia 47', 'C 68' PI 164323, PI 180283
Zucchini yellow mosaic	ZYMV	PI 161375
Watermelon mosaic	WMV	PI 414723 B 66-5 *Cucumis metulifesrus*

表 4. 番茄之抗病來源

Table 4. Sources of Resistance to Important Diseases of Tomato

Diseases	Pathogens	Sources of resistance
Fusarium wilt	*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*	*L. pimpinellifolium* PI 79532, CR 6
	race 1	'Walter', 'Columbia', 'Roma', HS 110
		'Homestead', 'Flora-Dade', Sel. 22 and Sel. 30
	race 2	PI 126915
	race 3	US 629
Verticillium wilt	*Verticillium alboatrum*	*L. pimpinellifolium*
		Line 64480,'Petopride' and 10-15-2-2
Early blight	*Alternaria solani*	NCEBR-1 and NCEBR-2
		L. peruvianum var. *dentatum, L pimpinellifolium,* 'Pan American'.
		L. peruvianum B 6002177, *L. hirsutum* f. *glabratum* C1943
Late blight	*Phytophthora infestans*	*L. hirsutum,* PI 251305, PI 126445, LA 1255
Leaf mould	*Cladosporium fulvum*	*L. pimpinellifolium*
		L. hirsutum f. *glabratum, L. peruvianum, L. pennellii*
Anthracnose	*Colletotrichum coccodes*	PI 272636
Septoria leaf spot	*Septoria lycopersici*	*L. hirsutum, L. peruvianum, L. pimpinellifolium, L. glandulosum,* PI 126448
Gray leaf spot	*Stemphylium solani*	Campbell 28, 'Rotella', 'Caraiba', Ont. 7620 and 'Flora-Dade'
Corky root	*Pyrenochaeta lycopersici*	PI 262906, PI 198601
Bacterial wilt	*Pseudomonas solanacearum*	'Louisiana Pink'
		L. pimpinellifolium, PI 127805a
		'Venus', 'Saturn'
Bacterial canker	*Corynebacterium michiganense*	*L. hirsutum* PI 251305, *L. pimpinellifolium*
		L. pimpinellifolium line Utah 737, Utah 20
Bacterial spot	*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*	Hawaii 7998
Bacterial speck	*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*	*L. pimpinellifolium* PI 112215, *L. hirsutum* f. *glabratum* PI 129157
		Campbell 28, Ohio 7663
Tomato mosaic	Tobacco mosaic virus	*L. pernvianum* PI 128650, *L. hirsutum*
Early top virus	ETV	CVF 6, CVF 7, CVF 8, CVF 9, CVF 11, CVF 12
Tomato leaf curl	TLCV	*L. hirsutum* f. *glabratum* B 6013
		L. hirsutum f *typicum* A 1904
		L. peruvianum accessions
		L. pimpinellifolium A 1921
Tomato yellow leaf curl	TYLCV	*L. chilense, L. peruvianum*

表 5. 番椒之抗病來源

Table 5. Sources of Disease Resistance in Pepper

Diseases	Pathogens	Sources of resistance
Phytophthora rot	*Phytophthora capsici* (Leonian)	PM 217
		Fyuco. P51
		Criollo de Morelos 334 and L29
		PI 188376, PI 201232, PI 201234
Fruit rot	*Colletotrichum capsici* (Syd.) Butler.	Line 1951, 2158
Bacterial spot	*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* race 1	Santanka
		C. chacoense PI 260435
Bacterial wilt	*Pseudomonas solanacearum*	'KAU Cluster' and 'White Khandari'
		'Antibois', 'Chay 3', 'Conic'
Cucumber mosaic	Cucumber mosaic virus	'Rama'
Leaf curl	Leaf curl virus	Hot pepper
Potato virus Y	Potato virus Y	'Delray Bell'
Tobacco mosaic	TMV	*Capsicum chinense*
		Capsicum chacoense acc. PI 260429 and SA 185
		C. chinense PI 159236

表 6. 茄子之抗病來源

Table 6. Sources of Resistance to Diseases in Eggplant

Diseases	Pathogens	Sources of resistance
Fusarium wilt	*F. oxysporum*	K 61, K72, Ghana local
		S. indicum, S. integrifolium, S. incanum
	F. oxysporum and *Phomopsis vexans*	F_4 plants from *S. melongena* × *S. indicum*
Verticillium wilt	*Verticillium dahliae*	PI 1649, PI 174362
		S. touvum, S. caripense, S. persicum
		LF 3, *S. sodomaeum*
		'Florida Market', Harris Hybrid 7763
		S. sisymbriifolium
Phomopsis fruit rot	*Cercospora solani (P. vexans)*	*S. gilo, S. integrifolium*
		S. macrocarpon, 'Udupi Gulla',86 (M)
		GO-3 and Composite 1
Bacterial wilt	*Pseudomonas solanacearum*	'Kopek', 'Black Beauty'
		S. integrifolium, SM 6-1, PPC, ARU2C
		SM 6-1, SP, SM-6-1-M, SM 6-7 SP
Root-knot nemaodes	*Meloidogyne incognita*	*S. sisymbriifolium*
	M. incognita, M. arenaria	*S. torvum, S. sisymbriifolium*
	Meloidogyne spp.	*S. torvum,* MM 392, MM450,
		S. aethiopicum, 'Gulla'
	M. incognita race 1&2	'Gulla'

表 7. 菜豆之抗病源

Table 7. Sources of Rdsistance to Diseases in *Phaseolus vulgaris*

Diseases	Pathogens	Sources of resistance
Anthranose	*Colletotrichum lindemuthianum*	
	race beta and gamma	'Michelite 62' and 'Seaway'
	beta, gamma and delta	PI 304110
	alpha. beta. gamma. delta	'Cornell 49-242'
Angular leaf spot	*Isariopsis griseola* Sacc.	'Alabama No. 1', 'California', 'Small White', 'Epicure', etc. (about 50 lines)
Fusarium root rot	*Fusarium solani* (Mart. and Appet Wr.) f. sp. *phaseoli* (Burk.) Snyd. and Hans.	PI 203958
Rust	*Urmyces phasceoli* (Reben) Wint. U.S. rust race	'U.S. Pinto 5 and 14'
	Maryland races	'Bush Blue Lake 290' 'Custer', 'Mountaineer White', 'Half Runner', 'Oregon 1604'
White mold	*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) deBary	*P. coccineus,* PI 271999, Florida 72, BTS 16, PI 821860
Bacterial canker	*Corynebacterium flaccumfaciens*	PI 165078
Bacterial spot (common blight)	*Xanthomonas phaseoli*	PI 207262 PI 313343 PI 282086
Halo blight	*Pseudomonas phaseolicola*	'GN Nebraska 1 Set. 27'
	Race 1	RMU 1-3 Red Mexican V 4604 (High or partial resistance); V 4058 (low resistance) 'Noorinbee' RH-13 HB 76-1
Bean common mosaic	Bean common mosaic virus	*P. coccineus* 'Morena', 'Monviso' 'Niveo', 'Montebianco'

表 8. 豇豆之抗病來源

Table. Sources of Disease Resistance in *Vigna unguiculata*

Diseases	Pathogens	Sources of resistance
Cercospora leaf spot	*Cercospora cruenta* Sacc.	CR 17-1-34 and Ala. 963-8
Fusarium wilt	*Fusarium oxysporum* f. *tracheiphilum* (E.F.S.) Snyder and Hansen.	Iron
Phytophthora stem rot	*Phytophthora vignae* Pruess.	$K_4$235, TVu 3861
Bacterial or fungal target leafspot	*Corynespora cassiicola* (Berk and Curt.)	'VITA 3'
Bacterial canker	*Xanthomonas vignicola*	P-309, P-901, P-426
Bean yellow mosaic	BYMV	PI 297562
Cowpea aphid-borne mosaic	CABMV	TVn 410
Cowpea yellow mosaic	CYMV	'Alabunch', 'Dixielee'
Cowpea severe mosaic	CSMV	'Macaibo', 'FP 7733-2'
Southerm bean mosaic	SBM	PI 186465

表 9. 萵苣屬之抗病來源
Table 9. Sources of Disease Resistance in Genus *Lactuca*

Diseases	Pathogens	Sources of resistance
Anthracnose	*Marssonia panattoniana*	'Alaska'
Corky root rot		'Oak Leaf Marquette'
Downy mildew	*Bremia lactucae* to races 'Rio Grande'	'Valverde', 'Calmar'
	'Valley' and 'California'	FL 49015, L. *serriola;*
	3 isolates to 11 races	*Lactuca saligna*
Leaf spot	*Stemphylium botryosum* f. *lactucum*	*Lactuca saligna*
Powdery mildew	*Erysiphe cichoracearum*	'Imperial 850'
Sclerotinia drop	*Sclerotinia sclerotiorum*	'PI 250427', 'Taiwan.', 'PI 251790' 'PI 255568', 'MUS 73-44', 'Bibb'
Lettuce mosaic	Lettuce mosaic virus	'Florida 1974'

抗病性的遺傳

作物抗病性一般由細胞核之遺傳因子所控制者較多，由細胞質控制之例子極少，瞭解作物的抗病性遺傳，如顯隱性或由多少對遺傳因子控制以及細胞核或細胞質所控制等等，有助於育種計畫的擬定，可以幫助如何選擇父母本，需種植多少株才能獲得抗病的後代及其出現機率，以及抗病親本利用的方式。

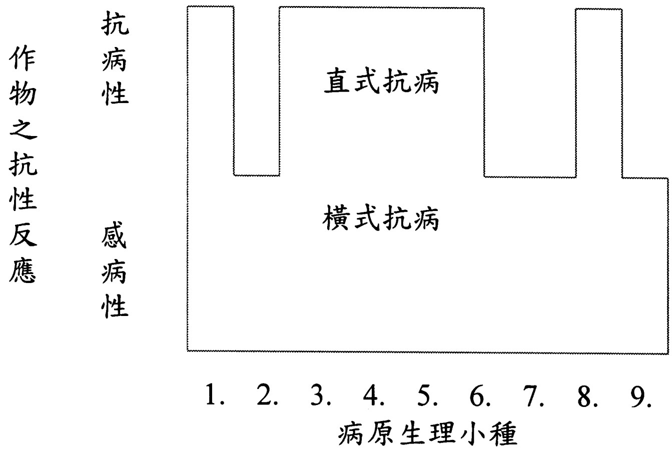


圖 3.直式（ vertical ）及橫式（ horizontal ）的抗病性。
橫式抗病性對所有的生理小種均有抗病，直式則只對1. 3. 4. 5.及 8.等生理小種有抗性。

抗病性通常由一對或少數對主效基因（ major gene ）控制者多屬於直式或垂直抗病性（ vertical resistance ），而微效基因（ polygenes ）所控制者多為橫式或水平抗病性（ hroizontal resistance ），但並非全然如此。直式抗病性對病原菌的不同生理小種會有不同之抗性，橫式抗病性則較不受病原菌生理小種的影響，也即這種抗病性對所有的生理小種均呈抗病性(圖 3.)。由一對或少數對遺傳基因所控制

的抗病性比較容易在分離世代如 F_2 分辨出抗病株與感病株，因此容易加以選拔，一般育種家比較喜歡利用。惟此種由一對或少數對基因控制之抗病性，一般而言較不能持久。而由微效基因所控制的抗病性，其抗病或感病是一種連續性的差異，兩者比較不容易區別並加選拔，微效基因控制的抗病性，容易受到環境的影響，且每一微效基因的抗病效果較小，必需累積較多的微效基因才能表現顯著的抗病效果，但其抗病性較能持久。直式抗病性與橫式抗病性之差別請參考表 10.。

表 10. 直式抗病性(vertical resistance)與橫式抗病性(horizontal resistance)之差異

	直　式　抗　性	橫　式　抗　性
基因控制	由少數對效應較大的基因所控制，大部分符合基因對基因理論。	通常由微效基因所控制，具基因累加效果。
抗性表現	一般抗感病呈不連續變異，差別明顯。	抗感性呈連續性變異，差別不明顯。
抗性機制	通常呈過敏性反應。	減少病原侵入，阻礙病原生長，發育及繁殖。
對流行病的影響	減少原始接種源，延遲流行病開始發病時間。	降低病害發生的程度及速度。
抗性效果	抗病程度高，抗病完全但僅抗某些生理小種。	抗病程度較低，但對所有的病原生理小種均有抗性。
抗性發生時間	通常抗性發生在苗期或整個生長期，亦可能只在成株發生。	只在成株時有抗性。
對病原的影響	病原會改變，容易產生新的生理小種。	病原不會改變，不易產生新的生理小種。
持久性	抗性容易失去，抗性不持久。	不易失去抗性，抗性較持久。
穩定性	抗性較不受環境影響。	抗性易受環境影響。
抗性導入	抗性判別及導入均容易。	較不易。
類似同義字	race specific, major gene, specific, seedling, transient, complete, differential, qualitative	non-race-specific, polygenes, general, adult or field resistance, partial, durable, permanent, uniform, quantitative

具有一對或少數對顯性基因控制的抗病材料為一代雜交種的親本時，F_1 亦具有抗病性，此點在一代雜交種的利用上甚具意義。由一對抗病因子所控制的例子如菜豆抗炭疽病、銹病，胡瓜抗炭疽病，西瓜抗炭疽病，甜瓜抗白粉病，南瓜抗白粉病，西瓜抗蔓割病，結球白菜抗根瘤病，豌豆抗白粉病，番茄抗萎凋病，

番茄抗根瘤線蟲病，番茄抗 TMV ，番茄抗葉黴病，番茄抗晚疫病等，馬鈴薯抗 PVX ，甜椒抗細菌性斑點病、 TMV 和根瘤線蟲病。多因子控制的例子如胡瓜抗炭疽病，胡瓜抗露菌病，西瓜抗蔓割病，番茄抗青枯病，番茄抗晚疫病，番茄抗瘡痂病，馬鈴薯抗 PVY 及捲葉毒素病等。惟所用之抗病材料不同時，其抗病遺傳也可能不同。有關胡瓜、甜瓜、番茄、番椒、菜豆、豇豆、豌豆、甘藍、花椰菜、青花菜、結球白菜和蘿蔔等之抗性材料及遺傳方式列於表 11.至 23.。

表 11. 胡瓜之抗病來源及其遺傳

Table 11. Resistances and Their Inheritance in Cucumber

Diseases	Pathogens	Sources	Model	Gene(s)
Anthracnose	*Colletotrichum lagenarium*	PI 175111 PI 175120 PI 179676 PI 183308 PI 183445	monogenic dominant	*Ar*
	race 1	SC 19B	monogenic recessive	*cla*
		AR 79-95 PI 197087	polygenic (3-8 fact.)	
Target leaf spot	*Corynespora cassicola*	Roy. Sluis Hybrid 72502	monogenic dominant	*Cca*
Scab	*Cladosporium cucumerinum*	'Davis perfect'	monogenic dominant	*Ccu*
Downy mildew	*Pseudoperonospora cubensis*	'Poinsett'	monogenic recessive	*dm* (one of several)
Powdery mildew	*Sphaerotheca fuliginia*	'Natsufushinari'	monogenic recessive	*pm-1*
		'Natsufushinari'		*pm-2*
		PI 200815 PI 200818		*pm-3*
		Gy2cpcp 'Spartan Salad' Wisc. 2757		*pm-h*
Fusarium wilt	*Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*	Wisc. 248	monogenic dominant	*Foc*
Angular leaf spot	*Pseudomonas lachrymans*	MSU 9402 GY 14A	monogenic recessive	*psl*
Bacterial wilt	*Erwinia tracheiphila*	PI 200818	monogenic dominant	*Bw*
Cucumber mosaic	Cucumber mosaic virus	Wisc. SMR 12 Wisc. SMR 15 Wisc. SMR 18	monogenic dominant	*Cmv* (one of several)
Watermelon mosaic 2	Watermelon mosaic virus strain 2	'Kyoto 3 Feet'	monogenic dominant	*Wmv*
Watermelon mosaic 1	Watermelon mosaic virus strain 1	'Surinam'	monogenic recessive	*wmv-1-1*
Zucchini yellows mosaic	Zucchini yellows mosaic virus	TMG 1	monogenic recessive	*zymv*

表 12. 甜瓜之抗病來源及其遺傳

Table 12. Inheritance of Disease Resistance in Muskmelon *(Cucumis melo)*

Diseases	Pathogens	Sources	Gene(s) involved
Fusarium wilt	*Fusarium oxysporum*		
	race 1 and 2	CM 17187	*Fom 1. Fom 2*
	race 4	'Perlita'	*Fom 4*
	race 0, 2	'Perlita FR'	*Fom3*
Powdery mildew	*Saphaerotheca fuliginea*		
	Erysiphe cichoracearum	*PMR 45, PMR 450*	*Pm 1, Pm 2*
	race 1,2	'*Georgia 47*' and '*C68*'	*Pm 1, Pm 2*
Downy mildew	*Pseudomonas cubensis*	PI 164323	A recessive gene and other genetic factors
		PI 180283	
		PI 124111	Two incompletely dominant genes
Cucumber mosaic	CMV	'Freeman'	Three recessive genes
		PI 161375 ('Songwhancharmi')	Single dominant gene
		'Mitangchang'	Two pairs of complementary genes
		'Shirourinigo'	Three pairs
		'Shiroubi Okayama'	Two recessive genes
Watermelon mosaic	WMV-1	PI 180283	Single dominant
		Cucumis metuliferus	*Wmv*
		PI 180280	*Wmv-1*

表 13. 番茄對真菌性病害之抗病來源及其遺傳

Table 13. Genetics of Host Resistance to Fungal Diseases in *Lycopersicon* spp.

Diseases	Pathogens	Sources	Gene(s) involved
Buck-eye rot	*Phytophthora nicotianae* var. *parasitica*	*L. pimpinellifolium*	Ec 54725. *Br.*
Early blight	*Alternaria solani*	71B2	Two or more recessive factors
Collar rot	*Alternaria solani*	—	Single dominant
	Didymella lycopersici	*L. hirsutum*	More than one dominant factors
		L. hirsutum f. glabratum	
Foot and root rot	*Phytophthora nicotiana*	*L. esculentum* lines from U.S.	One incomplete dominant major gene
Fusarium wilt	*Fusarium oxysporum* race-1	*L. pimpinellifolium* Acc. 160	I
		VFN 8	Two independent genes *FIR_1*
Gray leaf spot	*Stemphylium solani*	—	Single dominant
Late blight	*Phytophthora infestans* race-0	West Verginia Acc. 36 and 106	*Tr 1*
		L. pimpinellifolium	Monogenic (Res.) Semidominant
		L. pimpinellifolium	Dominance and over-dominance of horizontal resistance
Leaf mold	*Cladosporium fulvum*	—	*Cf-5*

Diseases	Pathogens	Sources	Gene(s) involved
	races 6.10.11.12	–	*Cf-1* to *Cf-24*
	1.2.3. 1.2.4. and 2.3.4		Several genes
Soft rot	*Erwinia carotovora*	MH_1	Polygenic
		Heinz 3	Polygenic
Rhizoctonia fruit rot	*Rhizoctonia solani*	PI 193407	Polygenic
		U.S.D.A. 75B 846-1-1.	One major dominant gene
		U.S.D.A. 75B 610-3	Polygenic involving four major genes
Septoria leaf spot	*Septoria lycopersici*	PI 422397	Single dominant
Stem canker	*Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici*	6718VF	Single dominant
Target leaf spot	*Corynespora cassicola*	PI 120265.	Single recessive gene
		PI 112215	Single recessive gene
Verticillium wilt	*Verticillium alboatrum*	–	*Ve*

表 14. 番茄對細菌性及病毒病害之抗病來源及其遺傳

Table 14. Genetics of Resistance to Bacterial and Virus Diseases in *Lycopersicon* spp.

Diseases	Pathogens	Sources	Gene(s) involved
		Bacterial diseases	
Bacterial canker	*Corynebacterium michiganense*	Okisu Sozai-1	Polygenic incomplete dominance
		L. hirsutum	A, B, C and D
Bacterial wilt	*Pseudomonas solanacearum*	PI 126408	Polygenic
Bacterial speck	*P. syringae* pv. tomato	'Rehovot 13'	Single dominant gene with a few minor genes
	Xanthomonas vesicatoria	*l. pimpinellifolium, L. minutum, L. .hirsutum* f. *glabratum*	Polygenic partially dominant
		Virus diseases	
Peru tomato virus	PTV	PI 126955	Single recessive gene
		L. hirsutum. PI 127827	Single dominant gene
Tobacco mosaic	TMV	PI 235673	*Tm 1*
		B 2247	*Tm 2*
Leaf curl	LCV	354A, Silvestra, S 1496. PR 5	Polygenic
Yellow leaf curl	*YLCV*	*L .pimpinellifolium,* LA121	Monogenic incompletely dominant
			Recessive
		L. cheesmanii	More than one dominant gene
		L. hirsutum	

表 15. 番椒屬之抗病來源及其遺傳
Table 15. Inheritance of Disease resistance in *Capsicum* spp.

Diseases	Pathogens	Sources	Gene(s) involved
Phytophthora rot	*Phytophthora capsici*	*C. frutescens*	Monogenic recessive
		Line 491 and 493	A dominant with modifiers
			Duplicate factors
		'Waxy Globe'	Single dominant
Bacterial spot	*Xanthomonas vesicatoria*	'Santanka'	Monogenic dominant
		PI 163192, PI 322719	Monogenic dominant
		PI 163189	Two or more additive genes
Cucumber mosaic	Cucumber mosaic virus		
	Hot pepper	—	*cm*
	Sweet pepper cmv strain	'Rama'	*Riv*
Leaf curl	Leaf curl virus		
	Hot pepper	—	*lc*
Pepper mottle	Pepper mottle virus	Brazillian capsicum	Single recessive gene
Pepper veinal mottle	Pepper veinal mottle virus	—	A recessive gene
Potato Y virus	Potato Y virus	'Delray Bell'	Single recessive
	Pathotype C & D	'Serrano Vera Cruz'	Single recessive
	Pathotype A	'Serrano Vera Cruz'	Partially dominant
Tobacco etch	Tobacco etch virus	Greenleaf Tobasco	Monogenic dominant
Tobacco mosaic	Tobacco mosaic virus	GT 3 and GT 4	Single dominant
		C. chinense (PI 152225)	*Tm*
		—	*Li*
		C. chinense	Monogenic partial dominant

表 16. 菜豆屬之抗病來源及其遺傳
Table 16. Inheritance of Host Resistance to Diseases in *Phaseolus* spp.

Diseases	Pathogens	Sources	Gene(s) involved
Angular leaf spot	*Isariopsis griseola*	*PBL 257 (Phaseolus coccineus)*	Single recessive gene
White mold	*Sclerotinia sclerotiorum*	*P. coccineus*	*Ws*
Common blight	*Xanthomonas phaseoli*	'GN Nebraska 1' Sel. 27; PI 1207262	Polygenic (Low heritable)
Halo blight	*Pseudomonas phaseolicola*	'Red Mexican'	Single dominant
		PI 150414	Single recessive
		L_{HB-1}	Tolerant to leaves; Tol-
		PD_{HB-1}	erant to pods
Common bean mosaic	CBMV	—	*bc-1*, *bc-1*^{2} *bc-2*, *bc-2*^{2}, *bc-3*
		'Corbett Refugee'	1
		'Seafarer', 'Aurora'	1
		'Robust'	a
Bean yellow mosaic	BYMV	GN 1140	*by 3*
Blackeye cowpea mosaic	BCMV	'Black Turtle Soup'	*Bcm*
Cowpea aphid-borne mosaic	CABMV	'Black Turtle Soup'	*Cum*
Rust	*Uromyces phaseoli*	GN 1140	RB_{11}
		Negro San Ramon 5	Polygenic

表 17. 豇豆之抗病來源及其遺傳

Table 17. Genetics of Host Resistance to Diseases in Cowpea *(Vigna unguiculata)*

Diseases	Pathogens	Sources	Gene(s) involved
Cercospora leaf spot	*Cercospora cruenta*	CR 17-1-34	*Cls 1* dominant
		Ala. 963.8	*cls 2* recessive
Anthracnose	*Colletotrichum lindemuthianum*	—	Dominant gene(s)
Powdery mildew	*Erysiphe polygoni*	—	Single recessive
Target leaf spot	*Corynespora casiicola*	'VITA 3'	A recessive gene
Bacterial canker	*Xanthomonas phaseoli*	'Prima'	Two gene pairs with epistasis
	X. vignicola	'Iron'	Single recessive gene
		P-309, P-910, P-426	Single dominant gene
Bean yellow mosaic	BYMV	PI 297562	Single recessive gene *(by)*
Blackeye cowpea mosaic	BCMV	TVu 2480	*bcm*
Cowpea aphid-borne mosaic	CAMV	TVu 410	One partially dominant gene
Cowpea yellow mosaic	CYMV	'Alabunch'	Three additive loci
Cowpea chlorotic mottle	CCMV	PI 255811	Single recessive(*cc*)
Cucumber mosaic	CMV	—	Single dominant gene (*Cm*)

表 18. 豌豆之抗病材料及其遺傳

Table 18. Sources and Genetics of Resistance to Diseases in Peas

Diseases	Pathogens	Sources of resistance	Genetics
Fusarium root rot	*Fusarium solani* f. sp. *pisi*	PI 140165, PI 183910 PI 194006, PI 210257, PI 223385	—
Brown root	*Fusarium solani* f. sp. *pisi*	—	Single dominant
Damping-off	*Pythium ultimum*	Accessions 140165, 183910, 19404	—
		Minnesota 494 A II	—
Powdery mildew	*Erysiphe pisi*	Continental, JP 501, VP 7906, PH1-1,	*er* (single recessive)
		HWVP 1	*er2*
Rust	*Uromyces fabae*	JP 'Batri Brown 3' JP 'Batri Brown 4'	Single dominant gene
Wilt	*Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*		
	race 1	'New Era' 'Kala Nagni', LMR 20, LMR 110, JP 501	*Fw*
	race 2	—	*Fnw*
Fusarium root rot	*Fusarium oxysporum*	'Dia', 'Nike', K 7589, R 4006, 'Helia'	
Downy mildew	*Peronospora pisi*	'Dark Skin Perfection' 119, 21	Single dominant
Ascochyta blight	*Ascohyta pisi*	'Kinnauri'	Duplicate factor
		K 1632, K3055, K 5072, K5117	One dominant gene

Diseases	Pathogens	Sources of resistance	Genetics
Pea root rot	*Aphanomyces euteiches*	PI 166159, PI 167250, PI 169604, PI 180693, PI 180868 Minnesota 494	Single dominant gene or linked polygenes with *le* or *pl*
Pea enation mosaic	PEMV	PI 193586, PI 193835	*En*
Pea seed-borne mosaic	PSBMV	Psb, Mv-Pam, Psbmv-P4 X 78122, X78123, X78124, X 78125, X 78126, X78128	A recessive factc (*sbm4)*
Bacterial blight	*Pseudomonas syringae* pv. *pisi*	'Onward' and 3080 resistant to both races	Single dominant gene (race 1)
Bean yellow mosaic	BYMV	'Bonneville' 'Wisconsin Perfection'	Single recessive (*mo*)
Top yellow	TYV	–	Monogenic recessive
Pea leaf-roll	PLRV	'Rando', 'Novette', 'Starlett'	Single recessive
Pea streak	PSV	–	Single recessive
Pea mosaic	PMV	–	(*mo*)
		Perfection type	Single recessive (*pmv*)
Bean virus 2	BV2	'New Era', 'Wisconsin Perfection'	Single recessive

表 19. 甘藍之抗病材料及其遺傳

Table 19. Inheritance of Resistance to Diseases in Cabbage

Diseases	Pathogens	Sources of resistance	Genetic information
Fusarium yellows	*Fusarium oxysporum*		Resistance due to number of factors with cumulative effects
		'Wisconsin Hollander'	Type B
		'Wisconsin All Seasons' 'Wisconsin Brunswick' 'Maryland Flat Dutch'	Type A+B
		'Jersey Wakefield ', 'All Head Early', 'Glory of Enkhuizen', 'Copenhagen Market',	Single dominant gene, type A resistance
		'Globelle' 'Wisconsin Ballhead C' 'Tronchuda 1 to 4'	Monogenic dominant system (type A)
Downy mildew	*Peronosproa parasitica*	PI 245015 savoy cabbage	Two independent dominant genes
		Globelle'	Single dominant gene
Clubroot	*Plasmodiophora brassicae*	Bohmerwaldkohl 72755,72756, C-2129-1, D-1831-1-2, D-1831-3-3, D-1831-3-5, Bindsachsener-1661-2, PI 215515	Polygenic, recessive
		'Badger Shipper' (race 6) Oregon 100, 123, 140 and 142	Oligogenic, recessive

Diseases	Pathogens	Sources of resistance	Genetic information
Black rot	*Xanthomonas campestris*	'Acadie' (races 1 and 6)	Polygenic, recessive
		'Richelain', 'Richesse' (races 2, 6 and 7)	Dominant
		Cab-mf-1, Cab-ms-1	Dominant
		'Fuji'	One or more dominant genes
		'Hugenot'	
		'Early Fuji'	One major gene
		'Badger Inbreds' nos. 14-20	'f + one recessive and one dominant modifier gene
		PI 436606	One recessive gene
Turnip Mosaic (TuMV)	*Turnip mosaic virus*	'De Brunswick, cabbage 'Winter White III' cabbage 'Ace High' cabbage	Simple oligogenic system
Cauliflower Mosaic (CaMV)	*Cauliflower mosaic virus*	'Superette' cabbage Hybrid RI cabbage	Simple oligogenic system
Powdery mildew	*Erysiphe polygni*	Globelle', 'Hybelle', 'Sanibel,	Single dominant gene with minor genes

表 20. 花椰菜之抗病材料及其遺傳

Table 20. Inheritance of Disease Resistance in Cauliflower

Diseases	Pathogens	Sources of resistance	Inheritance
Black rot	*Xanthomonas campestris*	MGS, Pua Kea, Sel. 445, Sel. 6-1-2-1, Sel. 1-6-1-4, Pusa Snowball K-1	Dominant polygenes
Downy mildew	*Peronosproa parasitica*	PI 208474 BR-2, CC (12-C), Sel.6 F_2-3-5-1-1 EC 177283, EC 191179 Novembrina, Kibo Giant Mero Giant	A single recessive gene
Clubroot	*Plasmodiophora brassicae*	Badger Shipper (cabbage)	Polygenic recessive

表 21. 青花菜之抗病材料及其遺傳

Table 21. Inheritance of Disease Resistance in Broccoli

Diseases	Pathogens	Sources of resistance	Inheritance
Clubroot	*Plasmodiophora brassicae*	MSU 134 Qregon CR-1 OSU CR-8	Polygene
Downy mildew	*Peronosproa parasitica*	PI 189028 (to race 1) PI 245015 (to race 2) PI 231210 (to race 1,2)	Race-specific and dominant
Yellows	*Fusarium oxysporum*	Gem (to race 2)	Not yet determinated
Black rot	*Xanthomonas campestris*	Early Fuji (cabbage)	One major gene f. with one recessive and one dominant modifiers

表 22. 白菜之抗病材料及其遺傳

Table 22. Inheritance of Disease Resistance in Chinese Cabbage

Diseases	Pathogens	Sources of resistance	Inheritance
Downy mildew	*Peronosproa parasitica*	Bau Chin 26, PHW 64707, 64710, 64722, 64620 B 742, B 639 (Hakuran)	Two dominant genes
Clubroot	*Plasmodiophora brassicae*	Michihili, E.C.D. Milan White (Turnip) Siloga, 77b (Turnip) Gelria R, Debra (Turnip) 77b	One dominant gene to race 6 and race 7 One dominant gene to race 2 One dominant gene with modifiers
Turnip mosaic	*Turnip mosaic virus*	Bau Chin 26, PHW 64707, 64710, 64722, 64620, PI 419069 and PI 391560 、 PI 418959 (to C1, C2, and C3) PI 418957-5241 (to TuMV-C1, C2, C3 and C4) 平塚一號	More than one gene and partially dominant Two dominant genes
Soft rot	*Eriwinia caratovora*	平塚一號 No reliable source	Multiple genes

表 23. 蘿蔔之抗病材料及其遺傳

Table 23. Inheritance of Disease Resistance in Radish

Diseases	Pathogens	Sources of resistance	Inheritance
Fusarium Yellows / Wilt	*Fusarium oxysporum*	Red Prince, White Spike, Early Scarlet Globe White Prince, Otabe, China Rose, Anno no.1,2,3,4 美濃早生、練馬、宮重	Polygenes
Clubroot	*Plasmodiophora brassicae*	Hatsuka, Horyo, Shogoin, Miyashige, Nerima, Moriguchi	Multiple genes
White rust	*Albugo spp.*	Round Black Spanish, China Rose Winter	Monogenic dominant
Turnip mosaic	*Turnip mosaic virus*	Bansei-mino. Aki-wase Takakura, Motohashi-mino, Tosai, Nishimachiriso, Choko-hakusyu, Choko-hatsusyu, Sakuragima, Onnayama-aka. 美濃早生、關東、早粗練馬、大藏、都西	Multiple genes
Soft rot	*Erwinia carotovora*	Waincha, Yokokadokei Pekin Shinribi, Takakura, Miura, Tosai	Need further study

抗病性篩選

在抗病性篩選過程中，接種能否成功是一個極重要的關鍵，接種方法和病原的種類、傳播方式及侵入植物體的途徑等均有很密切的關係。病毒或類病毒（MLO）通常經由植物傷口，細菌則由植物自然開口如氣孔、水孔、皮孔及傷口進入，真菌通常可以分泌酵素直接由表皮細胞入侵。真菌一般以分生孢子或菌絲配成懸浮液為接種源，以噴槍、吸管、注射器、毛刷或比較精密儀器用孢子灑佈在植物體之適當部位上或澆灌懸浮液或伴種接種，細菌以注射、動力噴槍、針刺、剪葉、斷根、澆灌懸浮液、拌種等來接種。機械傳播之病毒，被篩選之植株先均勻灑上金鋼砂或 celite 於葉片上，再用棉花球沾病毒接種液擦拭或將 celite 與病毒接種液混合，以動力噴霧器接種，由媒介昆蟲傳播之病毒的接種方法，需先以人工飼養清潔不帶毒的昆蟲，俟媒介昆蟲獲毒後，再用已帶毒的媒介昆蟲作為接種源。以一定數量帶毒的媒介昆蟲放養在欲測試的植株上。一般土壤傳播性的真菌、細菌或線蟲亦可利用病圃來接種。環境條件如溫度、濕度、光線強弱及植株生理狀態等，都會影響接種成功與否，應該注意每一病害的理想發病環境，一個良好的篩選技術必須能區分出抗病和感病的基因型，而且要簡便易行和比較經濟。抗病性篩選方法之大綱可參考圖 4.，番茄病原之接種技術及發病條件列在表 24。一般而言高溫高濕有助於細菌性病害的發生。以下介紹胡瓜露菌病、炭疽病、白粉病、病毒病、根腐病、細菌性枯萎病、疫病、萎凋病、角斑病及瘡痂病和西瓜蔓割病及炭疽病之抗性檢定，而胡瓜主要病害的苗期抗病鑑定技術列於表 25.。

接種技術：

- 接種方法 {噴霧、噴粉、浸漬、注射、磨擦、混合（與土壤）} 用需要的病原生理小種或群體 —— 接種到
  - 植物(部分) {種子、萌發的種子、幼苗、成株、植物的片段（切下的）}
  - 植物的生長環境 {傳染的土壤、誘發株或誘發行}

植株培養：

感病植株（或部分）的生長 —— 在正確的環境條件下（溫度、光照、濕度）—— {實驗室、溫室（盆栽、育苗箱、苗床）、田間} —— 直至鑑定時

病原培養：

接種病原的增殖 ——
- 在感病寄主上（活的或死的）
- 在合適的人工培養基上

生理小種測定：在一系列鑑別寄主上測定

圖 4．抗病性篩選技術

表 24. 番茄抗病性評估技術

Table 24. Techniques for The Evaluation of Tomato Populations for Disease Resistance.

DISEASE	TEST LOCA-TION	PLANT GROWTH STAGE	INOCULATION TECHNIQUES	CONDITIONS DURING INCUBATION	SYMPTOM DEVELOPMENT ON SUSCEPTIBLS	
					Time Needed	Special Considerations
Fusarium wilt	GH[a]	Seedlings, cotyledons expanded.	Dip roots in inoculum and transplant to flats.	Hold at 24 C.	2-3 weeks	Sunny days; keep soil moist at first, then let dry in midday to encourage wilting.
Verticillium wilt	GH	Seedlings, cotyledons expanded.	Dip roots in inoculum and transplant to flats	Hold at 21 C.	3-4 weeks	Sunny days; keep soil moist at first, then let dry in midday to encourage wilting
Bacterial wilt	GH or F	Seedlings, 5-6 leaves (in flats or seedbed).	Cut roots on one side. Pour bacterial suspension into soil trench.	Keep plants between 20 C (night) and 30 C (day); keep soil moist.	1-3 weeks	Symptoms appear more rapidly at warm temperatures. Transplant survivors to field.
Bacterial canker	GH	Seedlings, 3-leaf stage.	Inoculate cut made by excising first true leaf at point of attachment with bacterial suspension.	Provide conditions for good seedling growth.	8 weeks	Plants with one or more unwilted shoots considered resistant.
Late blight Monogenic resistance	GH	Seedlings, 3-4 leaves.	Inoculate leaves with swarmspore suspension by atomization.	Place inoculated plants in a moist chamber at 21 C for 16 hr.	4-7 days	Provide conditions for good growth.
Multigenic resistance	GH	6 weeks old, grown in shallow beds.	Inoculate leaves with swarmspore suspension by atomization.	Cover bench with plastic and introduce mist for 16 hr.	1-2 weeks	Keep soil fertility low and give supplemental light.
Early blight Foliage	GH	Seedlings, 3-4 leaves.	Inoculate with atomized spore suspension.	Initial incubation for 24 hr at 21 C.	7-10 days	Place plants in mist chamber nightly.
Collar rot	GH (Soil beds)	Seedlings, 4 weeks old	Dunk tops and stems of seedlings into inoculum and transplant to a depth of 3 inches.	Keep soil damp at about 20 C.	7-14 days	Water between rows to prevent washing inoculum from stems.
Septoria leaf spot	GH	Seedlings, 3-4 leaves.	Atomize conidial suspension onto plants.	100% RH for 48 hr at 21 C.	7-10 days	
Leaf mold	GH	Seedlings, 3-6 leaves.	Inoculate by spraying lower-leaf surfaces with spore suspension.	100% RH for 48 hr at 21 C.	2-3 weeks	Keep plants at 20-24 C and at 80% RH or above.

DISEASE	TEST LOCA-TION	PLANT GROWTH STAGE	INOCULATION TECHNIQUES	CONDITIONS DURING INCUBATION	SYMPTOM DEVELOPMENT ON SUSCEPTIBLS Time Needed	Special Considerations
Gray leaf spot	GH	Seedlings, cotyledons expanded. or 3-4 leaves.	Atomize spore suspension onto plants.	100% RH for 24-28 hr at 21-24 C.	3-5 days on cotyledons; 7 days on true leaves.	Intergrade-resistant reactions sometimes occur on true leaves.
Anthracnose	L	Mature.	Inoculate fruit by atomization or puncture.	If inoculation is by atomization. 24 hr at 100% RH and 24 C.	7-10 days	Hold fruit at about 24 C.
Tomato mosaic	GH	Seedlings, start series of inocula-tions on first true leaf.	Apply expressed inoculum with an air brush; inoculate again 10 days later.		Start roguing 10-14 days after inoculation	Transplant survivors in field and continue roguing.
Spotted wilt	F		Place seedlings in a disease nursery and encourage thrips.	Tarnsplant to field after 4 weeks.	7-20 days after vector feeding.	Grow plants to maturity, and rogue on basis of plant and fruit symptoms.
Curly t op	GH	Seedlings, 10 days old at start.	Release viruliferous leafhoppers into screened greenhouse 2 or 3 times at 1 week intervals.		1 week after first feeding.	Classify plants after 1 month.
Root knot	GH	Seedlings, cotyledons expanded.	Transplant seedlings into flats containing soil infested with chopped, galled roots from a susceptible crop.	Keep soil moist, and GH temperature about 24-27 C.	4-6 weeks	Dig plants ,wash roots, count plants with galled roots as susceptible.
Root knot	L	Germinated seedlings.	Inoculate seedlings grown in test tubes with egg masses of nematodes .	Keep tubes at 28 C.	7 days	Examine roots microscopically at 10 × for amount of necrosis and galling.

[a] The following abbreviations are used in this table: GH = greenhouse, L = laboratory, F = field.

一、胡瓜抗病性檢定

1.露菌病

露菌病是胡瓜最重要的真菌性病害，病原菌為 *Pseudoperonospora cubensis* 。病菌喜冷涼潮濕的環境條件。晝暖夜涼，多雨潮濕，大霧重露天氣最有利於本病發生。感染的溫度範圍為 10~28 ℃，適溫為 16~24 ℃，主要侵害葉片，下部老葉先受害。發病初期，病斑呈淡黃色，擴大後為葉脈所限制，呈四方形或多角形黃褐色病斑。後期病斑彼此聯合成大斑，使全葉呈黃褐色乾枯，使產量大幅度下降。

露菌病菌是絕對寄生菌，不能用人工培養，必須保留在病株上，最好是每周生產一批胡瓜幼苗，以保存病菌，如果不是露菌病發病期，如在冬天，露菌病菌可以保存在溫室中， 6~10 天苗齡的小苗有 5~6 株即可，病菌培養期為 7~14 天。露菌病菌的溫度要求比白粉病稍低，以 16~24 ℃為宜。讓病菌生長 1~2 個星期，因為病菌只能夠生存一個星期，所以要創造露菌病發生的環境，即把病苗放入 100 % 相對空氣濕度中保持 48 小時，在飽和的空氣濕度下，孢子在葉背面生長，然後用少量無菌水洗下，保存在小容器裡，加入 20 ℃沒有任何雜質（如銅等）的離子蒸餾水，病菌孢子在 16~24 ℃情況下，保存 48 小時，就可以產生小的游動孢子，這些游動孢子就是接種源。

(1)田間自然檢定

即將受檢的品種，在最有利於發病的季節及條件下，在瓜田裡播種。採用不抗病的品種作對照。在露菌病大發生季節，一般不抗病的早熟品種進行春或秋播往往發病嚴重，生長不到十片葉子就乾枯死亡，以致毫無收成。所以在春、秋季選擇和檢定抗病性狀是有利的。季節不同發病差異也很大。不同地區氣候條件往往差異很大，因而影響評估的準確性，總而言之，最主要的原則是因地制宜，在最容易發病的季節播種檢定。應當注意到的是，栽培條件對一個品種的發病及嚴重程度有相當的影響。例如栽植地通風不良，肥水不足（特別是缺乏磷鉀肥）或灌水不當，均有利於病害發生。凡是瓜地低洼、潮濕或蔭蔽的地方發病早而重，所有這些情況，在進行自然檢定時要注意考慮到。

(2)接種檢定

掌握接種技術是很重要的一環。此外了解病害的傳染方式與感染途徑，對於接種工作是非常必要的。

露菌病菌的孢子囊落到感病的寄主葉片上，在有水浸時萌發芽管或產生游動孢子，游動孢子游動片刻後靜止，也產生芽管，芽管從氣孔侵入寄主。寄主感病後 4~5 天就可以發生病斑，在葉背病斑上產生大量孢子囊。在有利於病害發生條件下（ 10~20 天左右），此病就可以流行成災。

品種或系統間對露菌病抗性的差異，通常都是用田間調查發病指數法檢定的，但是由於一些具體方法細節上的差異，有時使所得指數並不能反映真正的抗性差異。例如關於調查時期和次數方面，發病早晚雖然與抗性強弱也有些關係，但更多受感染早晚的影響，因此依靠一次發病初期調查的結果所作出的檢定就不一定可靠。另一方面，在適於病害發展的條件下，病情的發展是相當快的，因而單純在後期作一次調查，則往往只能區分抗性很強和很弱的品種。因此，調查至少應分前期和後期兩次進行，最好分前、中、後三次進行。其次是調查株數方面的問題，為了能通過病情發展的快慢來比較系統的抗病性，通常都採用定株調查，即每一品種或系統取樣若干株，每次都調查這幾株，因此就要考慮取樣株的代表性。取樣株數當然應該根據具體的品種或系統純度適當增減，一般來講每一品種

或系統至少應選定10株，這些調查株應該是在發病以前隨機選定的。再次是調查葉數方面的問題，對選定株的全部展開葉片都作調查當然最好，但工作量較大，如果採用取樣定葉調查，則每株至少應有相同節位的上、中、下三片葉子（做上明顯記號以便每次調查）。再次是病葉分級方面的問題，至少從抗病性選育的角度來看，分級過多沒有必要，反使調查時不易劃分葉片所屬的級別，應該是分四或五級較為合適。四級的標準是：

0＝ 葉上無病斑。

1＝ 病斑面積占葉面積 1/4 以下。

2＝ 病斑面積占葉面積 1/4~3/4 。

3＝ 病斑面積占 3/4~葉枯黃。

五級的標準是 1＝ 病斑為小圓點或占葉面積 1/10 之下，其他把四級標準內的 1 、 2 、 3 各加 1 級。

2.炭疽病

病原菌為 *Colletotrichum lagenarium* ，要求較高的溫度和濕度，潛育期隨濕度的增加而縮短，在 87~95％ 時潛育期僅三天，相對濕度低至 54％ 以下時則不發病，發病的溫度範圍為 10~38 ℃，但以 22~27 ℃為最適宜，因此在高溫多濕的季節和地區本病的危害就較重。人工接種時用在馬鈴薯葡萄糖培養基上的分離菌種，先接種在 2~3 厘米上的一段菜豆莢上，在 26~28 ℃試管內經過七天，取出磨碎去渣加水，使每毫升約有 10^4~10^5 個孢子噴在有一片真葉的幼苗上，也可以與露菌病孢子混合接種， 5~10 天後可檢定，感病株病斑大並有黃圈。

3.白粉病

病原菌為 *Erysiphe cichoracearum*，分生孢子在相對濕度 20％ 以下也能萌發。白粉病原菌不能在培養基上培養，只能用感染株在溫室內繁殖保存，但乾葉在室溫下能保存病菌生活力達一年。由於孢子的生活力只有 1~2 天，因而接種前先用口吹去病葉上的老孢子， 24~48 小時用毛筆刷下新生孢子抹在子葉期或第一真葉期的胚莖上，保持 22~28 ℃，約 14 天後可以看到病徵。

4.病毒病

病原主要是矮南瓜黃化嵌紋病毒（ ZYMV ）、瓜類蚜媒黃化病毒（ CABYV ）及胡瓜嵌紋病毒（ CMV ），有時為西瓜嵌紋病毒（ WMV ），病毒主要靠桃蚜和瓜蚜傳布，也能經傷口接觸傳染。人工接種用感染葉破碎後，以雙層紗布過濾， 1 ： 10 稀釋後用 0.01 當量的磷酸二氫鉀調到 pH7.5 ，用 1~3 真葉期幼苗以金剛砂塗抹接種，接後先遮蔭 24 小時，其後放在 24~28 ℃的強光較乾燥條件下，約 7~14 天新葉上就可見到病徵。

5.根腐病

病原菌為 *Pythium aphanidermatum*，感染種子造成爛種，感染幼苗造成猝倒，感染成株造成全株枯萎，感染葉片造成褐色枯斑破碎穿孔或全葉枯死，感染瓜條產生灰綠色下陷斑塊上生淡灰色菌絲，最後腐爛。檢定方法可把分離菌種接種在

瓜條上，待發生孢子後配成懸浮液，噴播植株地上部分或灌溉根部，第五天即可看到病徵。

6.細菌性枯萎病（青枯病）

病原菌為 *Erwinia tracheiphila*，侵害各種瓜類而以胡瓜最易感染。病原菌依靠胡瓜條甲蟲（*Acalymuna* spp.）和胡瓜斑甲蟲（*Diabrotiea* spp.）二類甲蟲傳播。

7.疫病

這是造成胡瓜整株枯死的主要病害之一，特別溫度高、雨水多的地區和秋胡瓜較嚴重。病原菌主要是 *Phytophthora melonis*，也有 *P. capsici*。抗性的離體檢定法是從上數第 4~5 片葉，為了避免造成傷口而不用水洗，用培養 6 天的菌種作定量接種，每葉接 3 菌塊，菌塊直徑 5 毫米，菌塊上各滴一滴蒸餾水放在乾燥器內保濕，在 20~25 ℃下經 1.5~2 天即可根據病斑大小檢定抗性差異。

8.萎凋病

萎凋病也是造成各地胡瓜枯死的主要病害。病原菌廣泛感染各種瓜類，但各有特異的生理種，感染胡瓜者為 *Fusarium oxysporium f. cucumerium*。病原菌用馬鈴薯培養基培養。在 24~26 ℃下 7~14 天即可見到大小孢子，用細紗布過濾後，再用離心法分離收集孢子，接種液濃度要達到每毫升約 10^7 個孢子。接種時切斷苗一側的根，每株灌接種液 10 毫升，保持 28 ℃左右溫度，不抗病株 14 天內死亡。

9.角斑病

病原菌為 *Pseudomonas lacrymans*。發生期往往早於露菌病和炭疽病，乾葉在 15~21 ℃紙袋內能保菌種生活力一年。溫室內接種噴霧於葉背，在 21 ℃下保濕 48 小時，約 4~5 天後可見病徵。

10.瘡痂病

病原菌為 *Cladosporium cucumerinum*，侵害葉、莖和果實，較冷涼濕潤的氣候有利於病害的發展。抗性的檢定法係在幼苗接種並保持在 17 ℃左右的較高濕度環境下，不抗病株不久就枯萎至子葉節，抗病株只有輕微影響而且很快恢復，從而對抗性可以作出很正確的檢定。

二、西瓜抗病性檢定

1.蔓割病

西瓜蔓割病是尖孢鐮刀菌西瓜專化型〔*Fusarium oxysporum* Schlecht. f. sp. *niveum* (E. F. Sm.) Snyd. & Hans.〕引起的，發生於世界所有西瓜產區及西瓜生長的各個時期。本世紀初，美國由於蔓割病的危害，使西瓜生產大幅度下降，不景氣的現象長達 16 年之久。由於蔓割病的發生，曾使愛荷華州（lowa）90％ 的瓜田受害。以色列、日本的西瓜蔓割病在全國各地普遍發生，且日趨嚴重，是西瓜的頭號病害。

表 25. 胡瓜主要病害苗期抗病性鑑定技術

病害名稱	病原菌	接種方法	植株生長階段	接種濃度	接種條件
萎凋病	*Fusarium oxysporum f.* sp. *cucumerium*	灌根法 菌土法 沾根法 胚根法	第一片真葉展開或胚根為1 cm時	2×10^5 個分生孢子/ml,10^5 個分生孢子/ml,10^6 個分生孢子/ml	在 20~25 ℃時播種於含菌的蛭石培養土中
疫　病	*Phytophthora melonis*	點滴接種	子葉期或第一真葉期	100~200 個游動孢子	20~24 ℃保濕 16 小時
露菌病	*Pseudoperonospora cubensis*	點滴法 噴霧法 注射法	真　葉 子葉期 真葉期	1500~4500 孢子囊 /ml	20~22 ℃保濕 12 小時發病避光,保濕有利於病情發展
白粉病	*Erysiphe cichoracearum*	噴霧法 離體葉盤法 撣菌粉法	子葉展平	10^5 個孢子/ml	保濕 12 小時 溫度 22~25 ℃
細菌性角斑病	*Pseudomonas larymans*	點滴法 噴霧法	一葉一心時期	3×10^8 孢子 /ml	13~26 ℃遮光保持黑暗 48 小時,濕度 100％ 7~10 天發病
黑星病	*Cladosporium cucumerinum*	離體子葉點滴 接種法	子葉剛展開	10^4~10^5 孢子 /ml	每滴 0.02ml 在 15~20 ℃黑暗條件下鑑定接種後 5 天調查
		噴霧接種	第一片真葉	10^5~10^6 孢子 /ml	接種後 24 小時 ,RH100 % ,溫度 12~25 ℃
炭疽病	*Colletotrichum lagenarium*	噴霧法	第一片真葉展開	3×10^6 孢子 /ml	24~25 ℃保濕遮光 24 小時後,轉入 24~26 ℃日間散光下繼續培育 4~5 天

由於蔓割病屬於土壤傳播性病害，生活力極強，可在土壤持續保存很長時間（10 年以上），化學藥劑的防治效果有限，輪作又因土地承租日益困難而效果不彰，因此，造成蔓割病的大量發生和流行，成為西瓜生產發展的最大障礙，而開

展抗蔓割病育種工作則是解決這一難題的有效途徑。西瓜蔓割病苗期人工接種檢定的技術和程序介紹如下：

(1)病原菌的採集、分離、純化和檢定

A.初分離：取病株近地面部的莖蔓一段，用 70％ 的酒精擦洗，進行表面消毒，再用 1％ 的昇汞浸泡 1~2 分鐘，用無菌水沖洗 2~3 次後，用濾紙吸乾水分，在無菌操作下，用刀片、剪刀等器具削去蔓的外皮，然後取中間維管束組織，用剪刀剪成數枚小塊，分散接種於 PSA 培養基上，放於 25~27 ℃恆溫箱中培養。

B.再分離：經初分離在恆溫箱中培養 2~3 天後，就可長出直徑 2~3 厘米大的菌落。篩檢各菌落，以確定目標菌落，在無菌操作下，從目標菌落的邊緣部分挑取一小塊帶有菌絲的培養基再接於 PSA 培養基上，在上述相同的條件下培養，並觀察各菌落的形態和顏色，選取典型的菌落進行單孢分離。

C.單孢分離：將上述分離的病原菌回接於 PS 培養液中，培養兩天後，取出部分懸浮液，稀釋到每個皿中約有 6~8 個單孢。然後按單孢分離的操作程序接種。培養的病原菌的單孢菌系一部分移入試管保存，一部分做回接檢定。

D.回接檢定：經過上述分離後，須進一步做回接檢定以確定該菌的專化性。方法是將西瓜種子用 50 倍的甲醛溶液處理 30 分鐘，清水沖洗後，再用 60 ℃溫水浸種，使其溫度維持 30 分鐘，再用清水浸泡一晝夜，充分淘洗、催芽，播種在滅菌的砫石中，待子葉展平後，從砫石中起取苗子，用自來水將根部沖洗乾淨，再將根部浸入上述分離得到的病原孢子懸浮液中 1 分鐘左右，然後移栽於育苗盆中。

E.再分離、再回接：從這些發病株中再進行分離、純化後再行回接，結果若發病趨勢與上相同，則進行下一試驗。

F.西瓜專化型的確定：經過上述步驟後，初步認為該病原屬西瓜鐮刀型蔓割菌。但為了進一步確定，尚需進行專化型試驗。選用胡瓜、絲瓜、扁蒲、甜瓜和西瓜作寄主，分別進行接種，西瓜發病率高達 97.8％ ~100％ ，胡瓜發病率為 4.4 ％ ，絲瓜、扁蒲、甜瓜均未表現任何症狀，據此証明該病原菌確為西瓜專化型。

(2)接種方法

根據研究人員對三種不同接種方法即土壤接種法，胚根接種法和浸根接種法研究之後，效果以浸根接種法最佳，因此確定以浸根接種法進行西瓜蔓割病苗期抗性篩選檢定，具體方法如下：

A.接種工作程序

a.接種源製備：用馬鈴薯、蔗糖培養液培養法製作。具體作法是 1000 ml 水中加入 200g 馬鈴薯，煮沸 30 分鐘，過濾，將水加至刻度，稍煮沸，再加入蔗糖 15g ，分裝於 3 個 500 ml 的三角瓶中，在 20 磅壓力下滅菌備用，將病原菌在無菌操作下接入瓶中，於 26 ℃左右的恆溫箱中培養 10 天（此

時該懸浮培養液中的病菌孢子數可達 10^6 個孢子/ml ）備用。用兩層紗布過濾。篩檢採用血球計數板統計孢子數。確定孢子濃度後，即可直接用於接種。

b.種子處理：為了排除種子帶菌的干擾，預防苗期其他病害發生，試驗所用種子都先用 50 倍的甲醛溶液浸泡半小時。在此過程中，用手搓洗種子兩次。反復用清水洗乾淨後，用 55~60 ℃溫水浸種 30 分鐘，再用清水浸泡種子一晝夜，進行催芽。

c.育苗：種子發芽後，播種於裝有洗淨的河沙的有孔盤內，覆以 1~3 cm厚的滅菌土，其外再套大鐵盤（不漏水），灌適量水，置溫室中。一般一個星期後苗可出齊，當幼苗達到子葉展平時便可準備接種移植。

d.接種移植：從育苗盤中小心起出苗子，用清水將根系沖洗乾淨後，將根部浸入接種液中，持續 1 分鐘，植入事先已準備好的裝有半盆滅菌土的育苗盆中，覆土種好後，灌適量水。按單株記載發病株，最後統計發病率。

B.接種濃度

採用 5 種不同孢子濃度進行，接種濃度試驗，以自來水浸根為對照。以 1×10^4 個孢子/ml 、以 1×10^5 個孢子/ml 、以 1×10^6 個孢子/ml 、以 1×10^7 個孢子/ml 四種孢子濃度進行試驗，結果以 1×10^5 個孢子/ml ～以 1×10^6 個孢子/ml 為最適宜的接種濃度範圍，具體使用濃度可根據病原菌分離物的致病力強弱而定。

C.浸根接種時間

國外的研究報告，所採用的浸根接種時間有 30 秒、 1 分鐘、 3 分鐘、 5 分鐘和 10 分鐘。因為蔓割病菌的侵入，並非發生在浸根接種的短暫時間內，浸根接種時間的長短對致病的影響作用不大。浸根 30 秒時間太短，不易精確掌握；浸根時間過長則操作中徒然浪費時間，並無效益。

2.炭疽病

瓜類炭疽病〔 *Colletotrichum lagenarium* (Pall.) Ell. & Palst.〕是 1867 年在義大利首次報導的，並被認為是一種葫蘆科作物的病害，是生長在潮濕條件下的胡瓜、甜瓜和西瓜葉片和果實上最為嚴重的病害。西瓜炭疽病也是一種世界性病害，對西瓜的為害僅次於蔓割病，而在高濕多雨的南方更為嚴重。

炭疽病人工接種檢定技術

(1)病原菌的採集、分離、純化和檢定

A.病原菌採集和初分離：在發病嚴重的植株上採集病葉（也可採用病果），先用 70％ 酒精擦洗表面，再用 0.1％ 昇汞浸泡 3~5 分鐘，然後用無菌水沖洗。在無菌條件下將病葉剪成約 2 × 2 (cm)的小塊，接於培養皿中的 PSA (Potato Sucrose Agar) 培養基上，置於 25~28 ℃恆溫箱中培養。

B.再分離：初分離的病葉組織在恆溫箱中培養 2~3 天，當長出直徑約 0.1~1 cm的菌落時，篩檢目標菌落。從其邊緣挑取少量菌絲再接於 PSA 培養基中繼續在上述條件下培養，如此經過 2~3 次轉接，去除雜菌，使菌種初步純化，同時根據對菌落形態和顏色的觀察，確認其為西瓜炭疽病原菌。

C.單孢分離：將再分離獲得的病原菌挑取少量菌絲於無菌水中，經攪動使孢子脫離菌絲分散到菌水中，用接種環沾取少量孢子懸浮液，劃線接種於 PSA 培養基上。待長出菌絲體後從中挑取少量菌絲於無菌水中，按上述方法重復進行單孢分離。由單孢長出的病原菌，一部分轉接於試管中的 PSA 斜面培養基上保存，另一部分經擴大培養用於回接檢定及致病性試驗。

D.回接檢定：為確定分離得到的病原菌是否確為西瓜炭疽病的致病菌，將其配成一定濃度（10^4 孢子/ml）的孢子懸浮淬，噴布於感病品種之葉面，以觀察其是否發病。

E.致病性試驗：為進一步確定所得到的病原菌對葫蘆科不同作物的致病性，將上述濃度的孢子懸浮液分別噴布接種於西瓜、甜瓜、胡瓜、絲瓜、夏南瓜等瓜類作物上，以觀察其致病性及差異。

(2)西瓜炭疽病人工接種檢定技術

A.接種液的製備

a.液體培養法：用 PS（Potato Sucrose）液體培養基，於 20 磅壓力下滅菌 20 分鐘，在無菌條件下接種病原菌，然後置於 28 ℃恆溫箱中培養 10~14 天，用無菌的雙層紗布過濾菌液，再用無菌水稀釋備用。

b.固體培養法：將病原菌接種於 PSA 培養基上擴大培養 10 天，然後用無菌水冲洗數次，收集分生孢子，稀釋至所需濃度供接種之用。

B.苗期人工接種檢定

一般在溫室內進行。通常在出苗後兩周當幼苗長出一片真葉時接種。孢子懸浮液濃度範圍為 $1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6$ 孢子/ml 之間，而以 1×10^6 孢子/ml 為宜，接種方法有噴霧法、點滴法及塗抹法等，以噴霧法最適宜，此法人為誤差少、接種效率高、發病早並可根據病斑多少進行分級檢定。

接種後的西瓜幼苗應保持 25 ℃的溫度，100％ 的相對濕度和無光照條件 48 小時，以利發病，約經一周後即開始出現病徵，並進行調查統計。

C.幼苗離體人工接種檢定

具體作法是將具有一片真葉的西瓜幼苗剪下地上部，用無菌水沖洗三次，吸乾表面水分，取直徑為 15 cm的培養皿經乾熱滅菌後，皿底及皿蓋均鋪 2 層無菌濾紙，並滴上無菌水，使之呈飽和狀態。，將剪下的幼苗放於培養皿中，用 1×10^6 孢子/ml 濃度的懸浮液噴霧接種，蓋上皿蓋，

在前述條件下保持 48 小時，然後揭去培養皿蓋上的濾紙使幼苗接受散射光，培養期間需及時給培養皿中補加無菌水，以保証濕度。

D.離體葉人工接種檢定

具有不同抗性水準的西瓜品種進行離體葉人工接種炭疽病抗性檢定，離體葉與幼苗人工接種同樣能夠真實地反映西瓜品種固有的抗病性，且能節省菌液、勞力、試材和費用，並對環境條件更易控制，簡便易行，可以廣泛採用。該法用注射器懸滴接種，菌液濃度為 1×10^5 孢子/ml 。接種葉片的葉齡為 15~20 天，接種後將離體葉片平放於鋪有 4 層無菌水飽和的吸水紙的培養盤中，其上用塑膠薄膜覆蓋，密閉保濕。溫度 25 ℃左右，在相對濕度為 100 % 的黑暗條件下保持 24 小時，其後改為日光燈照明，光周期為日照時數 16 小時，接種後 3 天開始發病，第 6 天調查平均病斑直徑，統計發病指數。

E.田間接種檢定

田間苗期接種檢定可在 15 葉期採用噴霧法進行，接種時間應放在傍晚，以保証高濕度，此外夜間也利於孢子萌發。田間成株接種可在植株伸蔓時進行，蔓長約 30 ㎝，接種濃度為 5×10^4 孢子/ml，於傍晚噴霧接種，10 天後可出現病斑，接種後三周按 6 級標準調查發病率及發病指數。

(3)西瓜炭疽病性檢定的分級標準

A.分級標準：

西瓜炭疽病的分級標準可參考胡瓜炭疽病所製定之 6 級分級標準。

0 級：無病斑。

1 級：輕微感染，僅子葉上極少數小病斑。

3 級：中度感染，真葉發病，有少數病斑（ 6~10 個）。

5 級：嚴重感染，擴展到莖及葉柄，病斑較多（ 11~20 個）。

7 級：感染非常嚴重，病斑數 21 個以上，壞死斑擴大，占葉面積 1/2 以上。

9 級：發病極為嚴重，植株枯死。

B.發病指數（ Disease Index, DI ）分級標準：

根據加權平均法計算發病指數，其抗性分級標準為：

0	極抗。	34~55	輕度抗病。
1~11	高抗。	56~77	感病。
12~33	抗病。	78 以上	高感。

鑑定抗病性的強弱，通常在田間、溫室及實驗室來進行，其中尤以田間檢定（自然感染或利用人工病圃）及溫室檢定最為實際。田間檢定時，病原之傳播方式及發病過程最為自然，結果相當可靠，惟利用田間自然感染時要瞭解所檢定的病害在什麼地區、什麼時期最容易發生，必需加以掌握。其缺點是環境無法控制，不能預測該病害是否會在該地區或該年發生。溫室檢定在比較能夠掌握的環境，可以利用幼苗大量而快速的進行篩選，以幼苗來作抗病篩選時可能把具有田間抗病性（ field resistance ）的遺傳基因淘汰為其主要缺點。並且幼苗的抗病性與成株

抗病性是否有相關，也是需要加以考慮。實驗室檢定是把病原接種到植物體的某些部位如葉片或果實上，或利用病原所產生之毒素作為接種源，接種到組織培養材料中。在進行抗病檢定時應以抗病及感病品種或材料作為對照。

在行抗病性篩選時要選用品質好、新鮮的接種源，所用接種源的濃度要能很恰當的分別抗病或感病性。另外，病原細菌經一般時間人工培養，容易發生變異，如番茄青枯病菌在 TC 培養基下培養，原來有致病性的菌株會突變產生帶有紅色而沒致病性的菌落，這一點也必需特別注意，所以應挑選具有致病性之菌株作為接種源。此外要篩選的育種材料必須保持在良好的生理狀態，避免抗病性的表現受到其他不必要因素的干擾而影響到檢定之可靠性。在抗病檢定和篩選抗病材料時，如果能同時對一種以上的病原進行鑑定和篩選，無疑是一個節約時間、加速抗病品種育成的好方法。

抗病性之分級標準，視病害的種類而異，有以病斑的數目、被害面積、病徵型態、發病株數（死亡株數）或發病的快慢等作為換算發病指數（ disease index ）的標準。通常各種病害均各有不同的分級方法，國外若已有訂定的標準，應可參考採用。

抗 病 育 種 方 法

抗病育種和一般育種方法並無差異，惟一般性育種目標比較單純，育種人員從事抗病育種時，則必需考慮到植物和病原間的互動。育種人員從事抗病育種時需對病原的種類、生態、生活史、接種方法、病徵、遺傳變異特性等有某種程度的瞭解，將有助抗病育種的執行，因此育種人員除需有作物病理的訓練外，若能與病理人員合作或獲得他們的協助，共同進行篩選及檢定等工作，對抗病品種育成將有很大的幫助。

由一對或少數對基因控制的抗病性，最常用的育種方法是回交或雜交。回交育種方法視轉移之抗病性為顯性或隱性而有不同，雜交育種則視作物的種類究竟為自交作物或異交作物或無性繁殖作物來決定後代的選拔方式及選拔時期。自交作物通常用譜系法（ pedigree method ）較多。而由微效因子所控制的抗病性的導入，宜利用輪迴選種（ recurrent selection ）的方法，經過幾次的循環選拔，將抗病基因逐漸集中於一體。為適應實際的需要，進行抗病育種時，應將不同之抗病主效基因或主效基因和微效基因累積在同一品種中，以避免抗病品種容易失去抗病性。將來抗病育種應考慮逐漸進行抗多種病害的育種，並且在接種病原時應考慮混合不同的生理小種或菌株作為接種源，或檢定特定病毒的不同 strains 或在不同地區進行抗病篩選，避免選育對特定生理小種或病毒 strain 的抗病品種，以延長抗病品種的利用年限。

在從事抗病育種時，為了延長抗病品種的應用年限，有一些育種策略已廣被討論採用。

1.混合多品系品種（multiline）：是將園藝性狀相同但各具有不同抗病基因的不同品系品種，混合種在一起。

2.基因累積（gene pyramiding）：是將不同的直式抗病主效基因累積在同一品種上，以避免抗病性被病原新的生理小種所克服。

3.基因展佈（gene deployment）：即將不同的抗病基因分別佈置在不同地區，以對付需要長途跨越及需在溫暖地區越冬的病原。

4.組合直式及橫式抗病性（combination of vertical and horizontal resistance）：將橫式抗病基因與不同的直式抗病基因組合在一個品種。

參考文獻

1.西南農業大學主編　1979.　蔬菜育種學　農業出版社　中國北京.

2.周長久主編　1996.　現代蔬菜育種學　科學技術文獻出版社　中國北京.

3.孫明賢　1975.　蔬菜抗病育種　園藝作物育種講習會專刊　p.133-135.　台灣農業研究中心.

4.蕭吉雄　1990.　園藝作物抗病育種之理論及實際　園藝作物育種講習會專刊　p.29-39.　台灣省農業試驗所.

5.蕭吉雄、王三太　1997.　十字花科蔬菜抗病育種　十字花科蔬菜產業發展研討會專刊　p.55-73.　桃園區農改場.

6.山川邦夫　1978.　野菜／抵抗性品種とその利用　全國農村教育協會　日本東京.

7.有倉保雄　1989.　瓜類之抗病育種　農友種苗公司創立 20 週年紀念學術演講專集　農友種苗股份有限公司編印

8.真柄佐弘　1989.　番茄之抗病育種　農友種苗公司創立 20 週年紀念學術演講專集　農友種苗股份有限公司編印

9.蘆澤正和　1989.　十字花科蔬菜抗病育種　農友種苗公司創立 20 週年紀念學術演講專集　農友種苗股份有限公司編印

10.Bassett, M. J. 1986. Breeding Vegetable Crops. The AVI Publishing Company. Inc., Westport. Connecticut. U.S.A.

11.Bell. A. A. 1981. Biochemical mechanisms of disease resistance. Ann. Rev. Pl. Physiol. 32:21-81.

12.Chadha M. L., A.K.M. Amzad Hossain and S. M. Monowar Hossain (compiled). 1993. Breeding of Solanaceous and Cole Crops. AVRDC, Tainan, Taiwan.,

13.Curtis W. Roane. 1973. Trends in breeding for disease resistance in crops. Ann. Rev. Phytopath. 11:463-485.

14.Holmes, F. O. 1954. Inheritance of resistance to viral diseases in plants. Advance in Virus Research 2:1-30.

15.Fehr, W. R. 1987. Principles of Cultivar Development Vol. 1. Theory and Technique. Macmillan Publishing, N. Y.

16.Flor, H. H. 1947. Inheritance of reaction to rust in flax. J. Agri. Res. 74:24-262.

17.Flor, H. H. 1971. Current status of the gene-for-gene concept. Ann. Rev. Phytopath. 9:275-296.

18.Kalloo, G. 1988. Vegetable Breeding Vol. II. Chapt 1. Disease resistance in vegetable crops. CRS Press, Inc, Boca Raton, Florida.

19.Kalloo, G. and B. O. Bergh (1993). Genetic Improvement of Vegetable Crops. Pergamon Press, Oxfrod.

20.Kiraly, E. (ed.) 1974. Method in Plant Pathology. Elsevier Scientific Publishing Comp., N.Y.

21.Nelson, R. R. 1973. Breeding Plants for Disease Resistance - Concepts and Application. The Penn. Sta. University Press, University Park, Penn., USA.

22.Opeña, R. T., C. G. Kuo and J. Y. Yoon. 1988. Breeding and Seed Production of Chinese Cabbage in the Tropics and Subtropics. AVRDC, Tainan, Taiwan.

23.Roberts, D. A. and C. W. Boothroyd 1975. Fundamentals of Plant Pathology, W. H. Freeman and Comp., San Francisco, USA.

24.Russel, G. E. 1978. Plant Breeding for Pest and Disease Resistance. Butterworths, London, U. K.

25.Walker, J. C. 1941. Disease resistance in the vegetable crops I. Bot. Rev. 7:458-506.

26.Walker, J. C. 1965. Disease resistance in the vegetable crops II. Bot. Rev. 19:606-643.

27.Walker, J. C. 1965. Disease resistance in the vegetable crops III. Bot. Rev. 31:331-380.

28.Watts, L. 1980. Flower and Vegetable Plant Breeding. Grower Books, London.

29. Williams, P. H. and H. Leung. 1981. Methods of breeding for multiple disease resistant Chinese cabbage. In Taleker, N. S. and T. D. Girggs (ed.,) Chinese Cabbage. AVRDC, Tainan, Taiwan.

蔬菜抗蟲育種

陳炳輝
臺灣省農業試驗所

蔬菜可提供我們豐富之維生素、礦物質及纖維素等，乃人類生活之必需品。而隨著國人生活水準之提升，平均每人每年蔬菜之消費量，自 1945 年之 38 公斤增至 1991 年之 120 公斤，而其總栽培面積亦較光復前增加近 5 倍（蕭 1996）。蔬菜之種類繁多，包括葉菜類、莖菜類、根菜類、花菜類及果菜類等五大類，而發生之害蟲種類亦不計其數。其中不乏重要之經濟害蟲如危害十字花科蔬菜之小菜蛾、紋白蝶、斜紋夜盜、黃條葉蚤及偽菜蚜等；危害瓜類之瓜蚜、瓜實蠅；危害番茄之番茄夜蛾等。

針對此等蔬菜害蟲之防治，長久以來一直依賴化學藥劑。但過度施用農藥往往造成環境污染、危及人畜及引起害蟲產生抗藥性等惡性循環之問題。所幸近年來國人環保意識日漸覺醒，而消費者對無農藥殘毒、清潔安全蔬菜之需求日殷。因此，其他非農藥防治方法如生物防治便極受重視。而抗蟲育種便是廣義生物防治之其中一種蟲害防治方法。簡單的說，它利用育種技術，將抗蟲基因導入栽培品種後栽植，是一種既經濟、安全、又有效之方法。

國外作物抗蟲育種之研究起步甚早，在抗小麥癭蚊、高粱黍蚜、歐洲玉米螟、瓜蚜、及擬尺蠖等均有顯著成績。但國內則相對地較晚且少，至目前為止，僅水稻抗褐飛蝨之育種較具基礎，而園藝作物如蔬菜之抗蟲研究方面，則付之闕如。因園藝蔬果作物之經濟重要性日增，為減少對化學藥劑之依賴，加強抗蟲育種研究已刻不容緩。本文就發展抗蟲育種之基本條件、作物與害蟲之關係、抗蟲來源與機制、抗性遺傳、及育種方法等分別敘述，並舉實例說明，以供有意從事者之參考。

抗蟲研究相關名詞與定義

一、抗蟲性（insect resistance）：為植物具有之一種相對的、可遺傳之特性，可影響害蟲之危害度(Painter, 1951)。換言之，抗蟲性係表示某作物之品種，在相同之害蟲密度下，比感蟲品種更耐害蟲之危害。

二、抗蟲等級（levels of resistance）有下列數種：

1.免疫（immune）：在任何情況，有此特性之作物永無某種特定害蟲之發生。

2.極抗（highly resistant）：作物之某品種，在某種情況下受某種害蟲取食，僅造成些微損失。

3.中抗（moderately resistant）：介於極抗與稍抗之間。

4.稍抗（low resistant）：作物之某品種，在某種情況下受某種害蟲取食，比該種作物之平均受害度稍低。

5.感蟲（susceptible）：作物之某品種，在某種情況下受某種害蟲取食，比該種作物之平均受害度稍高。

6.極感蟲（highly susceptible）：作物之某品種，在某種情況下受某種害蟲取食，遠超過該種作物之平均受害度。

另外，某些與抗性有關但非遺傳性，而由環境因子影響之現象，稱為假抗性（pseudo-resistance）。一般可分為三型：

1.逃避現象（host evasion）：在某種環境下，某作物能迅速渡過其最易受害之生長期以避免受害，如早熟品種。

2.誘導抗性（induced resistance）：當作物或其生長環境有變化所造成之暫時性抗蟲現象。

3.免除現象（escape）：某作物品種在栽培過程並無蟲害發生，故原本感蟲品種可能無受害。

三、抗性機制（mechanism of resistance）：可區分為三類：

1.非偏好性（nonpreference）或抗棲性（antixenosis）：當昆蟲覓食、棲息時，對某作物品種呈負性或完全避開之反應。

2.抗生性（antibiosis）：造成取食昆蟲產生不良影響，如降低其存活率、致使發育不良、體形變小、繁殖率差等現象。

3.忍受性（tolerance）：某作物品種能承受相當數量害蟲之危害，在相同害蟲密度下，會造成感蟲品種嚴重之損失。

一般而言，作物之抗性機制，可能同時存在或相互交感而更強化抗性程度。

四、一般常見之抗性相關名詞：

1.垂直抗性（vertical resistance）或專一抗性（specific resistance）：僅對某種害蟲之一種或少部分生物小種具抗性。

2.水平抗性（horizontal resistance）或一般抗性（general resistance）：對某些害蟲之全部生物小種均具抗性。

3.過敏抗性（hypersensitive resistance）：作物對病蟲害之迅速反應使受害部位壞死，使感染源不活化而僅局部受害。

4.成株期抗性（adult plant resistance）：抗性在成株時才表現。

5.幼期抗性（juvenile resistance）亦稱苗期抗性（seedling resistance）：抗性在苗期或幼株時表現。

6.田間抗性（field resistance）：在田間之抗性表現與在室內截然不同。此可能與幼期、成株期抗性有關，亦可能與害蟲生物小種之發生有關，有可能包括抗生、抗棲及忍受性等三種抗性機制。

7.多重抗性（multiple resistance）：某作物品種集多種病蟲害抗性基因於一身，如苜蓿（alfalfa）之一合成品種，Kanza，能抗一種細菌性萎凋病、二種蚜蟲（spotted alfalfa aphid, pea aphid）。

8.單因子抗性（monogenic resistance）: 抗性由單一因子所控制。

9.寡因子抗性（oligogenic resistance）: 抗性由少數因子所控制。

10.多因子抗性（polygenic resistance）: 抗性由多數因子所控制。

單因子與寡因子抗性，通常稱為主效因子抗性（major gene resistance），而多因子抗性則為微效因子抗性（minor gene resistance）。

五、生物小種（biotype）: 某種害蟲之個體或群體，其外部形態與同種之其他個體或群體無異，但能危害抗後者之抗性品種使之變為感蟲，此種個體或群體即為該種害蟲之生物小種。一般而言，具抗生作用之抗性品種，易使害蟲衍生新的生物小種。

發展作物抗蟲研究之要件

一、團隊合作（team approach）:

作物抗蟲工作非單人所能獨力完成，必須藉由育種、昆蟲、病理、遺傳、栽培等相關專業人員之分工合作方能完成。譬如，育種人員收集種源，昆蟲人員負責繁殖飼育害蟲族群，進行供試種源抗蟲檢定。遺傳人員分析抗蟲因子，供育種者將之導入商業品種中。

二、完整之文獻資料收集:

團隊各成員應針對標的作物或害蟲，儘量收集文獻資料。如標的作物之外部形態、繁殖方式、生長習性、地理起源與分布、遺傳、經濟重要性等。對標的害蟲之分類、形態、生理、生活史、地理分布、寄主範圍、遺傳、天敵及飼育技術等均須充分瞭解。

三、抗蟲檢定:

包括室內與田間檢定二種。各有其優缺點，最好二者均備。一般而言，室內檢定之優點包括全年均可進行不受時空限制；害蟲族群可控制，不會產生 escape 之假性抗性；蟲源與供試材料之最適期可互相配合。

缺點則是室內飼育之蟲源，因缺乏自然環境之選汰，較難代表田間自然族群；室內飼育蟲源往往因密度高易染病，不易維持高密度族群。田間檢定之優點在自然發生之害蟲族群，具代表性、能檢定大量供試品種系，檢定結果正確可靠。

缺點則是害蟲發生密度可能隨季節、年度而異，分布亦難均勻，故所得結果可能變異較大。而且，如害蟲僅年發生一代，則須在極適當時間內進行檢定工作，否則將會失去良機。

蔬菜抗蟲研究現況

一、抗蟲機制（mechanism of resistance）之探討:

Kennedy (1978) 報導至少已對二十餘種蔬菜進行抗蟲研究。種類包括豆類、甘藍、花椰菜等十字花科類、瓜類、胡蘿蔔、及茄科蔬菜之茄子、馬鈴薯、番茄

等。其中，茄子 (*Solanum melongena*) 對一種葉蟬 (*Amrasca biguttula*)；番茄 (*Lycopersicon esculentum*) 對番茄夜蛾 (*Heliothis zea*)；甘藍對甘藍擬尺蠖 (*Trichoplusia ni*) 及豌豆(*Pisum sativum*) 對豆蚜(*Acyrthosiphon pisum*) 等均屬抗生作用。

屬於非偏好性 (nonpreference) 或抗棲性 (antixenosis) 抗性機制之例子如：十字花科蔬菜之葉面腊質對葉蚤類害蟲具抗棲作用 (Kalloo 1988)；黃秋葵 (*Abelmoschus esculentus*) 對葉蟬 (*Empoasca devastans*)；抱子甘藍 (brussels sprouts) 對某些鱗翅類害蟲，以及蕪菁 (turnip) 對蕪菁蚜蟲等。Bohn et al. (1972) 報導洋香瓜品系 LJ 90234 對瓜蚜 (*Aphis gossypii*)之抗性包括抗棲、抗生及忍受性等三個機制。Eigenbrode et al. (1991) 亦報導具光滑腊質之甘藍 (*Brassica oleracea*) 對初齡小菜蛾幼蟲除具抗棲作用外，亦因該蟲不喜棲息而導致減少取食，以致降低存活率，因此亦具抗生作用。Kumar et al. (1995) 檢定幾種 *Lycopersicon* 屬對西方花薊馬(*Frankliniella occidentalis*) 之抗性反應，發現 *L. hirsutum f. glabratum*, *L. pennellii* 等對若蟲具高度抗棲性，而 *L. chilense* 為中度抗棲性。西方花薊馬成蟲之取食量以在 *L. hirsutum* 上最少，而在 *L. peruvianum* 與 *L. parviflorum* 上最多。

二、抗蟲來源 (source of resistance) 研究：

1.十字花科類作物 (cole crops)：

相關研究較多，如甘藍、花椰菜等抗菜蚜 (*Brevicoryne brassicae*)、甘藍擬尺蠖、甘藍螟蛾 (*Manestra brassicae*) 及紋白蝶 (*Pieris rapae*) 等。抱子甘藍之紅葉品種"Rubin" 比綠葉者較抗紋白蝶與甘藍螟蛾。同樣，甘藍之紅色品種 Storage red 4004 抗紋白蝶，而 PI 296133, PI 302985 品系則抗擬尺蠖。花椰菜之二品系 PI234599, PI 343483 抗小菜蛾、擬尺蠖及紋白蝶。Lin et al. (1984) 發現小菜蛾在 PI234599 品系上，幼蟲無法完全發育。

2.瓜類(cucurbits)：

研究主要著重於甜瓜(*Cucumis melo*)、胡瓜(*C. sativus*) 及南瓜(*Cucurbita moschata*) 等作物。瓜實蠅是主要害蟲，幾乎所有網紋甜瓜(muskmelon) 均為感蟲，僅野生種 *Cucumis callosus* 發現抗性。對瓜蚜抗性檢定發現 "Home garden" 甜瓜品種具抗性。而 "AR Hale's Best Jumbo", "AR 5", "AR Topmark" 等品種之抗蚜性，則源自於 PI 371795 品系 (McCreight et al. 1984)。Simmons and McCreight (1996) 篩選 31 種甜瓜品種系對銀葉粉蝨 (*Bemisia argentifolii*)之抗性，發現 PI 27796, PI 125861, PI 125918 等品系，銀葉粉蝨密度最低、植株生長勢較強。此等品種系可供進一步評估利用。

3.茄科作物 (Solanaceous crops)：

(1)*Solanum* 屬種類：

馬鈴薯(*S. tuberosum*) 抗蟲性低，大多數之抗性來自南美阿根廷、秘魯之野生種。其中 *S. brachistotrichum* 對桃蚜(*Myzus persicae*) 具抗性，另外六種具低度抗性。茄子(*S. melongena*) 也為 *Solanum* 屬重要作物，受螟

蟲為害至鉅。抗蟲篩選結果，栽培品種無一具抗性，而野生種 *S. khasianum* 則具抗蟲性。

(2)番茄屬 *Lycopersicon* 種類：

番茄夜蛾(*Heliothis armigera, H. zea*)係最嚴重害蟲，抗蟲篩選結果顯示 *L. hirsutum f. glabratum* 對 *H. armigera* 具高度抗性。而在篩選 1,030 個番茄(*L. esculentum*) 種原中，一個品種"Ting Tim" 對 *H. zea* 之感蟲性最小，夜蛾幼蟲在抗性品系之存活率與發育均受影響(Kennedy et al. 1987)。

潛葉蠅(*Liriomyza spp*) 亦為番茄之重要害蟲，而 PI 126449 較具抗性，其葉片較少受害。 另外， *L. hirsutum, L. hirsutum f. glabratum, L. pennellii* 對粉蝨(whitefly) 表現高度抗性，其中， *L. hirsutum f. glabratum* 之抗性已由回交法導入栽培品種 *L. esculentum* 。

Heinz and Zalom (1995) 測定 20 種栽培品種及 7 種野生番茄對銀葉粉蝨之抗性反應，結果發現該蟲完全不在野生種 *L. pennellii* 上產卵，與其餘商業品種呈極顯著之差異。

三、抗性遺傳研究：

研究抗性遺傳之方法係檢定抗蟲與感蟲之 F_1, F_2 及回交後代，計數其抗或感性反應，以估測抗性究由幾個或何種基因所控制。進行抗性遺傳分析之困難在於供試作物之抗性普遍不明顯，而難分別抗或感蟲。另外，大量飼育害蟲供試不易亦為主因。

蔬菜之抗性遺傳分析研究主要有番茄、瓜類及豇豆(cowpea) 等。 野生番茄 *L. hirsutum f. glabratum* 對番茄夜蛾 *H. zea* 之抗性遺傳分析得知係由隱性因子(recessive factor) 所控制。對另外一種夜蛾 *H. armigera* 之抗性遺傳研究，顯示分離後代之遺傳比率不明顯，說明此抗性係由二個以上因子控制。 Heinz and Zalom (1995)利用漸滲性(introgression)雜交方法，發現 *L. pennelli* 對銀葉粉蝨之抗性分佈於五條不同染色體，而以其中之一最為重要。 Lin et al. (1984) 報導抗小菜蛾之花椰菜與甘藍，其葉片呈暗綠且表面光滑，此特性具遺傳性，其廣義遺傳率分別為 0.75 與 0.88 。

甜瓜品系 LJ 20234 對棉蚜(*A. gossypii*) 之抗性屬容忍性，經遺傳分析得知此抗性由一顯性單因子控制，此因子經命名為 Ag 因子。而 LJ 90230 品系對 *A. gossypii* 之容忍抗性因子較複雜(Bohn et al. 1973)。 Kishaba et al. (1976) 發現 PI 371795 洋香瓜品系抗棉蚜之抗生作用係由一對顯性因子所控制。南瓜(summer squash) 對瓜椿象(squash bug) 之抗性遺傳研究發現 F_1 呈感蟲反應，而 F_2 則表現連續性變異，顯示抗性由 3-6 個數量因子(quantitative factors) 所支配。萵苣對桃蚜之抗性亦由數量因子控制，且有因子上位效應(epistatic effects)。

四、外部形態之抗性

某些蔬菜之外部形態、特徵能影響害蟲之發生，此等特徵均可加以利用。

1.十字花科類：

蔬菜葉面之色澤、腊質或光滑對害蟲之抗性與否視作物與害蟲種類而異，如葉蚤(flea beetle) 較少在有腊質葉面之抱子甘藍取食。相反的，具腊質之芥藍菜(marrow-stem kale) 則易受蚜蟲與粉蝨之為害。 Eigenbrode et al. (1991) 報導小菜蛾在甘藍光滑腊質之葉面上移動速率最大，明顯不喜取食，因而對小菜蛾具抗性。 Stoner (1992) 調查發現光滑葉面之花椰菜可減少 80% 紋白蝶與 95%偽菜蚜之危害。

2.茄科作物之茄屬(*Solanum*)種類：

野生種 *S. berthaultii* 之有腺細毛(grandular trichomes) 密佈於葉片與枝幹上，為對桃蚜(green peach aphid) 與馬鈴薯葉蟬(potato leafhopper)防禦工具，此特性可移轉至馬鈴薯栽培品種 *S. tuberosum*。此種分佈於 *S. berthaultii* 葉部之 B 型細毛，會干擾桃蚜之取食，而所分泌之黏液，能捕捉桃蚜，使之死亡，因而亦可降低桃蚜之傳病率。

3.番茄屬(*Lycopersicon*)之種類：

Lycopersicon 野生種之腺体細毛在抗蟲上佔有重要性，*L. hirsutum* 之細毛長且密，已知抗多種害蟲，如科羅拉多馬鈴薯甲蟲(Colorado potato beetle)、粉蝨(whitefly)、煙草葉蚤(tobacco flea beetle)、馬鈴薯蚜蟲等。番茄抗夜蛾之部位在果實外皮處，而夜蛾幼蟲之發生密度與果實外皮長度、花萼質地及花數有關。一般言之，小果實受害較輕，大果實受害嚴重。

4.豌豆類：

細毛數及密度與抗蟲性成正比，在 *Vigna unguiculata* 豆莢之厚度與豆象鼻蟲侵入呈負相關，而品種間之厚度差異頗大。鉤狀細毛(hook trichomes)對害蟲是一種物理障礙，對葉蟬等体質較軟之害蟲，能直接穿刺其近腿節之腹部組織而產生抗性。

5.瓜類：

有光滑葉面之品種比具絨毛者較抗瓜類害蟲 pickle worm ，因為該種成蟲在光滑品種之產卵較少。此一非偏好性反應，可能與光滑葉面使害蟲產卵無法產生觸覺刺激(tacticle stimulus)有關。 在南瓜屬(Cucurbita)之種類，維管束硬者受南瓜螟蛾(squash vine borer) 幼蟲危害較少而抗性較強。

五、抗性之生化：

野生番茄 *L. hirsutum f. glabratum* (PI 134417) 分離出二種成分，是本種番茄抗多種害蟲之主因。 一種是二已酮(2-tridecanone)，乃從其腺体細胞分泌物所含之一種非生物鹼(nonalkaloid)，其含量比普通番茄品種高出數倍，對害蟲具毒害之抗生作用(Eigenbrode and Trumble 1993)。另一種為 α-番茄素(α-tomatine)，屬於生物鹼，對番茄夜蛾幼蟲及寄生天敵均具毒性，其成份隨果實成熟而遞減。分析 PI 134417 野生番茄，每公斤生果含 3,390 毫克 α-tomatine，而栽培品種僅 5 毫克。 Juvik et al. (1994) 報導野生番茄之葡萄糖醯化物(acylglucoses) 會降低二種番茄夜蛾(*H. zea*, *S.*

exigua) 幼蟲之生長與發育及存活率。 Liedl et al. (1995) 則發現此類糖醯化物(acylsugars)會影響銀葉粉蝨之棲息及降低其產卵。

Habibi et al. (1993) 發現六種不同來源之植物黏蛋白(plant lectin) 能顯著降低馬鈴薯葉蟬之存活率。 瓜類之苦瓜素(cucurbitacin)含量與瓜類害蟲之發生有關，選擇該成分低之品種系，以育成對害蟲具非偏好抗性之品種。但 Tallamy et al. (1997) 發現苦瓜素對咀嚼式口器之非瓜類害蟲，有取食與產卵之忌避作用；對刺吸式口器者，反有刺激取食之作用。此外，十字花科作物之 sinigrin ，證明對桃蚜之取食有干擾作用。

六、抗蟲育種方法

抗蟲育種方法，一般以回交法將抗蟲基因從給體親(donor parent) 轉移至栽培品種。如野生番茄 *L. hirsutum f. glabratum* 抗粉蝨之因子轉移至栽培品種，其第一次回交後代除有原來番茄之園藝性狀外，亦同時具有抗蟲性。萵苣(*Lactuca sativa*)抗萵苣葉蚜(*Nasonovia ribis nigri*) 之育種，係以種間雜交(interspecific hybridization)與回交法將抗蟲基因從野生萵苣(*L. virosa*) 轉移而來(Eenink et al. 1982)。 Dickson et al. (1984) 報導以譜系法育成抗紋白蝶、擬尺蠖及小菜蛾之 NYIR 9602, 9605 及 8329 等甘藍品系。 McCreight et al. (1984) 以回交法將抗蚜基因自抗蟲親本 90234 品系轉移至有優良性狀之洋香瓜栽培品種，分別育成 AR Hale's Best Jumbo, AR5 及 AR Topmark 等三個抗棉蚜之洋香瓜品系。

針對由微效基因所控制之抗蟲特性，宜用輪迴選種法(recurrent selection)進行族群改良(population improvement)。 Sanford and Ladd (1987) 以輪迴選種法，進行馬鈴薯抗馬鈴薯葉蚜之族群改良，經過七世代之輪迴選種結果，新選育之馬鈴薯比未經選拔之族群減少 68% 之受害度。

抗蟲育種之優缺點與利用

蔬菜抗蟲育種之目的，在育成蔬菜品種既抗蟲又具高產、高品質等特性。一般而言，利用抗蟲育種方法防治害蟲之優缺點如下：

一、優點：

1.經濟：對農民而言，唯一之花費為購買種子，如栽培一般品種，除種子費用外，尚需施藥。

2.無危險性(nonhazardness)：與化學防治相比，栽種抗蟲品種不會產生農藥殘毒、污染環境等問題。

3.可降低害蟲密度：即使栽植低抗性品種，乃能抑制害蟲族群之增長。

4.對非標的生物體之干擾較小：由於抗蟲性均較專一，故對其他益蟲之影響較小。

5.可與其他防治方法相容。

二、缺點：

1.較耗時：因與育種有關，需數年以育成抗蟲品種，屆時標的害蟲或已不具經濟重要性。

2.抗性之專一性：僅對某一種害蟲有抗性，對其他害蟲有可能極感。

3.抗蟲品種之遺傳變異較窄：因為抗性來源可能僅來自單一品系。

4.生物小種（biotype）之問題：抗蟲品種經推廣後，如選汰壓力大，則害蟲易衍生生物小種，使原為抗蟲之品種變為感蟲。一般而言，抗蟲性持續多久端視抗蟲作物與害蟲間交互作用（interaction）而定。

抗蟲育種在作物害蟲管理體系（integrated pest management, IPM）之角色，有下列數種：

1.做為主要之害蟲防治方法。

(1)當無其他防治方法可用時。

(2)當條件不容許有任何農藥殘毒時。

2.可配合化學防治方法。

3.可配合生物防治方法：抗性芹菜(celery, PI 357333)配合蘇力菌之施用，綜合防治甜菜夜蛾(*S. exigua*)與甘藍擬尺蠖(Meade and Hare 1995)。

參考文獻

蕭吉雄 1966. 永續農業之葉菜育種生產策略. 永續農業 5:5-13.

Bas, N., C. Mollema, and P. Lindhout. 1992. Resistance in *Lycopersicon hirsutum f. glabratum* to the greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporarium*) increases with plant age. Euphytica 640: 189-195.

Bodnaryk, R. P. 1992. Leaf epicuticular wax, an antixenotic factor in Brassicaceae that affects the rate and pattern of feeding of flea beetles, *Phyllotreta cruciferae* (Goeze). Can. J. Plant Sci. 72: 1295-1303.

Bohn, G. W., A. N. Kishaba, and H. H. Toba. 1972. Mechanisms of resistance to melon aphid in a muskmelon line. HortScience 7(3):281-282.

Bohn, G. W., A. N. Kishaba, J. A. Principe, and H. H. Toba. 1973. Tolerance to melon aphid in *Cucumis melo* L.J. Amer. Soc. Hort. Sci. 98:37-40.

Daubeny, H. A. 1983. Insect, mite, and nematode resistance. P. 216-241. In: Methods in fruit breeding, Moore, J. N. and J. Janick (eds.), Purdue University Press, W. Lafayette, 464 pp.

Dickson, M. H., and C. J. Eckenrode. 1980. Breeding for resistance in cabbage and cauliflower to cabbage looper, imported cabbage worm, and diamondback moth. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105:782-785.

Dickson, M. H., C. J. Eckenrode, and A. E. Blamble. 1984. NYIR 9602, NYIR 9605, and NYIR 8329 lepidopterous pest-resistant cabbage breeding lines. HortScience 19(2): 311-312.

Eenink, A. H., R. Groenwold, and F. L. Deileman. 1982. Resistance of lettuce (Lactuca) to the leaf aphid *Nasonovia ribis nigri*. 1. Transfer of resistance from *L. virosa* to *L. sativa* by interspecific crosses and selection of resistant breeding lines. Euphytica 31: 291-300.

Eigenbrode, S. D., and J. T. Trumble. 1993. Antibiosis to beet armyworm (*Spodoptera exigua*) in *Lycopersicon* accessions. HortScience 28(9): 932-934.

Eigenbrode, S. D., and J. T. Trumble. 1994. Host plant resistance to insects in integrated pest management in vegetable crops. J. Agric. Entomol. 11: 201-224.

Eigenbrode, S. D., K. A. Stoner, A. M. Shelton, and W. C. Kain. 1991. Characteristics of glossy leaf waxes associated with resistance to diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in *Brassica oleracea*. J. Econ. Entomol. 84: 1609-1618.

Frey, R. L., and F. P. Cuthbert, Jr. 1975. Antibiosis in *Lyco*persicon to the tomato fruitworm (*Heliothis zea*). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100: 276-278.

Habibi, J., E. A. Backus, and T. H. Czapla. 1993. Plant lectins affect survival of the potato leafhopper (Homoptera: Cicadellidae). J. Econ. Entomol. 86: 945-951.

Heinz, K. M., and F. G. Zalom. 1995. Variation in trichome-based resistance to *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) oviposition on tomato. J. Econ. Entomol. 88: 1495-1502.

Juvik, J. A., J. A. Shapiro, T. E. Young, and M. A. Mutschler. 1994. Acylglucoses from wild tomatoes alter behavior and reduce growth and survival of *Helicoverpa zea* and *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). J. Econ. Entomol. 87: 482-492.

Kalloo. 1988. Insect resistance in vegetable crops. P. 95-140. In: Vegetable breeding. Vol. II. Edited by Kalloo, CRC press, Boca Raton, 213 pp.

Kennedy, G. G. 1978. Recent advances in insect resistance of vegetable and fruit crops in North America: 1966-1977. Entomol. Soc. Amer. Bull. 24:375-384.

Kennedy, G. G., R. R. Farrar, and M. R. Riskallah. 1987. Induced tolerance of neonate *Heliothis zea* to host plant allelochemicals and carbaryl following incubation of eggs on foliage of *Lycopersicon hirsutum* f. *glabratum*. Springer-Verlag 73-615-620.

King, R. R., R. P. Singh, and A. Boucher. 1987. Variation in sucrose esters from the type B glandular trichomes of certain wild potato species. Am. Potato Jour. 64:529-534.

Kishaba, A. N., G. W. Bohn, and H. H. Toba. 1976. Genetic aspects of antibiosis to *Aphis gossypii* in *Cucumis melo* from India. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101: 557-561.

Kumar, N. K. K., D. E. Ullman, and J. J. Cho. 1995. Resistance among *Lycopersicon* species to *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). J. Econ. Entomol. 88: 1057-1065.

Liedl, B. E., D. M. Lawson, K. K. White, J. A. Shapiro, D. E. Cohen, W. G. Carson, J. T. Trumble, and M. A. Mutschler. 1995. Acylsugars of wild tomato

Lycopersicon pennellii alters settling and reduces oviposition of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). J. Econ. Entomol. 88: 742-748.

Lin, J., M. H. Dickson, and C. J. Eckenrode. 1984. Resistance of *Brassica* lines to the diamondback moth (Lepidoptera: Yponomeutidae) in the field, and inheritance of resistance. J. Econ. Entomol. 77: 1293-1296.

Maxwell, F. G., and P. R. Jennings. 1980. Breeding plants resistance to insects. Wiley & Sons, New York, 683 pp.

McCreight, J. D., A. N. Kishaba, and G. W. Bohn. 1984. AR Hale's Best Jumbo, AR 5, and AR Topmark: melon aphid-resistant muskmelon breeding lines. HortScience 19: 309-310.

Meade, T., and J. D. Hare. 1995. Integration of host plant resistance and *Bacillus thuringiensis* insecticides in the management of lepidopterous pests of celery. J. Econ. Entomol. 88: 1787-1794.

Painter, R. H. 1951. Insect resistance in crop plants. The Macmillan, Co., New York, 520 pp.

Painter, R. H. 1958. Resistance of plants to insects. Ann. Rev. Entomol. 3: 267-290.

Raman, K. V., W. M. Tingey, and P. Gregory. 1989. Potato glycoalkaloids: effect on survival and feeding behavior of the potato leafhopper. J. Econ. Entomol. 72:337-341.

Reinink, K., and F. L. Dieleman. 1989. Comparison of sources of resistance to leaf aphids in lettuce. Euphytica 40: 21-29.

Reinink, K., F. L. Dieleman, and R. Groenwold. 1994. Inheritance of partial resistance to *Myzus persicae* in lettuce. Euphytica 80: 71-78.

Robinson, R. W. 1992. Genetic resistance in the Curcurbitaceae to insects and spider mites. P. 309-360. In : Plant breeding review vol. 10 edited by Janick. Purdue University, published by John Wiley & Sons, N. Y. USA.

Sanford, L. L., and T. L. Ladd, Jr. 1987. Genetic transmission of potato leafhopper resistance from recurrent selection populations in potato *Solanum tuberosum* L. GP. Tuberosum. Am. Potato J. 64:655-662.

Simons, A. M., and J. D. McCreight. 1996. Evaluation of melon for resistance to *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). J. Econ. Entomol. 89: 1663-1668.

Stoner, K. A. 1992. Density of imported cabbageworm (Lepidoptera: Pieridae), cabbage aphids (Homoptera: Aphididae), and flea beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) on glossy and trichome bearing lines of *Brassica oleracea*. J. Econ. Entomol. 85: 1023-1030.

Tallamy, D. W., J. Stull, N. P. Ehresman, P. M. Gorski, and C. E. Mason. 1997. Cucurbitacins as feeding and oviposition deterrents to insects. Environ. Entomol. 26: 678-683.

Tingey, W. M. 1980. Breeding for arthropod resistance in vegetable. P. 495-522. In: Biology and breeding for resistance to arthropods and pathogens in agricultural plants. Edited by M. K. Harris, Texas A & M University, p 605.

蔬菜雜種優勢的利用

黃懿秦

國立台灣大學

異交作物的特性

一個異交作物品種是一個異質性的族群，其中的個體是異型結合的基因型。如果它是一個單交雜種，則是一個同質性的族群。族群個體間及同一物種不同族群間的質或量的性狀變異都相當的大。一般而言，族群間的變異較族群內的變異更大。

由於異交作物每一世代基因均會發生重組，而無法像自交作物一樣可以固定某一優良基因型，也就是使基因的頻度可以達到1，因此異交作物的育種家有興趣的是產生下一世代的配子基因型，而非只著重當世代異型結合的單株外表型。

Dobzhansky在1950年代提出基因庫(gene pool)的概念，他認為在植物孢子體世代結束時，族群中所有個體產生的配子就形成了一個基因庫，在這個基因庫中，所有的配子參與逢機交配，因此產生下一世代的基因型。因為產生不同的配子，因而每一世代就有無限多個機會產生不同的基因型。優良基因型可以在基因庫中產生較多的基因，這些優良基因頻度在下一世代中相對的就提高了，當然他們所形成的基因型也是優良的。當基因和基因型的頻度達恆定時，此族群的基因庫也就達平衡，而當基因和基因型的頻度有所改變，則基因庫亦有所改變，最後可達另一新的平衡點。異交作物的育種家主要就是在操控基因的頻度，以期獲得優良的基因型個體。

又一個族群中基因的效應（作用）主要有三種：累加性效應，顯性效應及交感效應。這些效應影響了基因在族群中的存在。而基因連鎖可能會造成族群中優良基因頻度的降低，甚或使其喪失。

近親交配

可引致同型結合率增加的交配稱之為近親交配。也就是說近親交配的結果會導致異型結合率的下降，此可以以近親交配係數(F)表示之。例如自交為近親交配最極端的情形，在每自交一次後，同型結合率增加50%，其F值以下式表示之：

$F=1/2(1+F')$　F'為上一世代的近親交配係數

如F2之F=0，F3之F=1/2(1+0)=1/2

近親交配之結果：

以玉米為例說明之。

一、近親交配的早世代中有大量不良的質的性狀出現。
二、由於同型結合率的增加，因而外表整齊一致的品系增加。
三、伴隨近親交配，植株的生長活力及生產力下降。
但有一些異交作物沒有近親交配弱勢，如葫蘆（cucurbits）。

雜種優勢

雜種優勢亦是雜種活力(hybrid vigor)，它是異結合性的表現，如植株外型，生長活力，結果率，抗虫，抗病性的加強等。雜種可以是自交系，品種或營養系間的交配。雜種優勢已普遍的被利用在農業的生產上，而創造了龐大的利潤。

近親交配與雜種優勢的遺傳基礎

一、超顯性學說(overdominance hypothesis)

Shull 和East分別在1908年提出，而後Shull再加以補充說明，他說：雜交的異結合是兩個不同的因子結合，它刺激了生物個體的生理活性，此種反應因連續的近親交配產生同型結合個體後而喪失。Shull 同時提出heterosis(雜種優勢)這個名詞。如果雜種優勢是生物體生理反應的一種表現，它比兩個同型結合體為優。這意指單一基因座內的交感作用。East將這個概念擴充至一個基因座內許多等位基因(alleles)，等位基因間的差異愈大，其異結合的優勢也就愈大，例如a1a2<a1a3<a1a4，這樣亦說明了超顯性表現程度的不同的現象，不論如何，異結合個體比同結合個體為優。下面舉二個例子說明之。

Stadler 在玉米基因座R上的例子說明了異結合個體植株種子及花藥的顏色的分佈比同結合個體要廣。

R-g R-g	colored aleurone, colorless anthers
R-g r-g	colored aleurone, colored anthers
r-g r-g	colorless aleurone, colored anthers

Stadler 也指出如果R基因座像對種子及花藥一樣影響細胞代謝中的一些重要物質的合成的話，那麼它的異結合體可能比同結合體的生長活力來的強。

Quinby 和Karper於1946年以控制高粱成熟期基因為例說明異結合個體比同結合個體有較高的種子及莖稈產量，且開花期亦最晚（表1）。連鎖可能引起的偽超顯性（pseudo-overdominance）也需加以留意，例如CAb/caB組合中A/a表現雜種優勢，可能是因為顯性基因掩蓋了不良隱性基因的表現（如顯性學說），也可能是C與B基因座間的交感而引起（此為epistasis效應）。在repulsion phase的連鎖情形下，利用數量遺傳的觀念估算顯性程度（degree of dorminance ）時，亦證明其數量大幅增加，同時顯性變方的量亦同時增加。

表1. 高粱ma基因對穗重及開花期的影響

Genotype	Head wt.	Days to anthesis
Ma Ma	130	70
Ma ma	149	83
ma ma	94	51

（引自Briggs & Knowles 1967. Table 17.1）

二、顯性學說（dominance hypothesis）

Nilsson-Ehle在多因子小麥種子顏色的遺傳控制上的研究結果顯示三個基因座R1,R2,R3的組合有下列的基因型和外表型：

1 R1R1R2R2	1 very dark red
2 R1R1R2 r2, 2 R1r1R2R2	4 dark red
4 R1 r1R2 r2, 1 R1R1 r2r2, 1 r1r1R2R2	6 medium red
2 R1 r1r2r2, 2 r1r1R2r2	4 light red
1 r1r1 r2r2	1 white

當顯性基因數增加時，紅色就加深，如果這個推論正確的話，三個基因座均為顯性等位基因時，種子的顏色最深，而實際上也獲得此種種子。同樣的模式可用另一個例子說明：A, B, C三個顯性等位基因對雜種優勢有相等的貢獻量，a, b, c則無，A, B, C對a, b, c為完全顯性，AaBbCc有最大的雜種優勢，經過自交，最後會有8種同型結合基因型，且平均分佈在最終的族群中，此8種基因型，若每一基因座上的顯性基因不論同型或異型結合狀態，他們對雜種優勢都有1個貢獻量，因而在AaBbCc自交及異交情況下，分別產生的雜種優勢量為1.5及2.25。透過雜交，降低了沒有及只有一個顯性基因的個體比例，同時增加了三個基因座上都有顯性基因個體的比例（表2），此結果符合顯性學說。但對此學說有2個質疑，如果顯性學說正確的話（1）F_2應是偏歪分佈，但實際上沒有觀察到，（2）應有與其天然授粉族群相同產量的同型結合個體的產生 ，但亦無此類個體被發現，然因優良及惡劣基因連鎖或基因數多過 20 個以上時，偏歪分佈不易獲得，與天然授粉族群相同產量的自交系亦不容易被發現，除非有無限大的族群。

另一個試驗也支持顯性學說，那就是聚合改良法(convergent improvement)，此方法利用自交系A（AABBCCddeeff）與自交系B（aabbccDDEEFF）交配產生之F_1再分別回交A及B，最後獲得A(b)自交系（AABBCCDDeeff）及自交系B(a)（aabbCCDDEEFF），A(b)與B(a)交配所產生之F_1（AaBbCCDDEeFf）的表現與原先的F_1相同或更好，此F_1只有四對異型結合的基因，而原先的F_1是一個完全的異型結合個體（六對基因均為異型結合），因此這個結果支持了顯性學說。另外1973年Russell等人及1977年Walejko和Russell在玉米輪迴選種的試驗亦證明了顯性學說是雜種優勢的遺傳基礎（表3）。

表2. 基因型AaBbCc自交與異交到達平衡時雜種優勢的表現

Number of Loci Homozygous or Heterozygous for the Dominant Allele[a]	Proportion of Individuals in the Population		Heterosis Produced	
	Selfing	*Outcrossing*	*Selfing*	*Outcrossing*
3	0.125	0.4219	0.375	1.2657
2	0.375	0.4219	0.750	0.8438
1	0.375	0.1406	0.375	0.1406
0	0.125	0.0156	0.000	0.0000
Total	1.000	1.0000	1.500	2.2501

a : This is the degree of heterosis.（引自Briggs & Knowles 1967. Table 17.2）

表3. 玉米族群經輪迴選拔後族群及族群間交配之產量（q/ha）

族群		產量	族群		產量
Alph	C_0	38.5	Kolk	C_0	48.5
	C_1	42.2		C_1	40.1
	C_2	50.6		C_2	43.9
	C_3	51.3		C_3	45.3
	C_4	50.4		C_4	49.7
	C_5	50.4		C_5	47.5
(WF9xB7)	C_0	41.0	Lane	C_0	47.0
	C_1	37.3		C_1	46.7
	C_2	41.3		C_2	46.6
	C_3	40.4		C_3	45.9
	C_4	46.0		C_4	42.4
	C_5	47.9		C_5	43.1
AlphCn×(WF9xB7)Cn			KolkCn×LaneCn		
	C_0	55.4		C_0	59.9
	C_1	61.1		C_1	64.6
	C_2	61.5		C_2	64.0
	C_3	69.0		C_3	69.1
	C_4	75.4		C_4	68.6
	C_5	73.9		C_5	71.9

（Russell *et al* 1973）　　（Walejko & Russell 1977）

三、上位性（epistasis）

不同基因間的交感所引起。例如三葉草的AcAclili（無氰酸）與acacLiLi（無氰酸）的交配所產生的F_1（AcacLili）（有氰酸），此一例說明雜種第一代的表現可能是因為基因間的交感所引起（圖1）。

White clover

Ac governs the production of a glucoside

Li governs a enzyme that converts the glucoside To hydrocyanic acid

AcAc lili × acac LiLi no HCN

Acac Lili HCN produced

圖1. 白三葉草Ac及Li基因控制HCN的生產

雜種優勢的生理機制

Rood等人在1985年利用玉米兩個自交系CM7和CM49及它們的F1分在25/20℃(對照)，25/15℃(air)與17℃(soil)及20/10℃(air)與12℃(soil)三個處理下，發現植株高度，乾重和內生GA的含量均有強烈的雜種優勢的表現，GA含量在玉米雜種優勢上扮演了重要的角色，且植株的生長速度和GA含量隨溫度的下降其雜種優勢亦隨之下降，此結果顯示環境的變動會影響雜種優勢的表現（表4）。

表4. 玉米CM7×CM49株高、乾重及GA之雜種優勢（potence ratio）

溫度（℃）	株高	乾重	GA
25/20	3.6	19.1	--
25/15	0.8	4.1	3.7
20/10	0.4	2.3	-1.2

（資料取自Rood *et al* 1985）

雜種育種與親本選擇

過去近90年來，雖然人們對雜種優勢的遺傳基礎無法得到一個定論，然而育種家利用雜種優勢生產玉米雜種品種以提高產量已是非常普遍的事情了。因此在此以玉米作為例子來介紹雜種品種的育種，前面已提過Shull在1908年提出的雜種優勢和近親交配弱勢的觀念，Shull同時提出了利用雜種做為玉米商業生產的品種型態，而生產雜種需利用自交系為親本方可，這是因為（1）自交系可每年繁殖，（2）雜種因而每年可繼續不斷生產，Shull亦指出因自交系生長勢弱而影響了F1種子的經濟生產，這也是早期單交雜種玉米遭遇的難題，直至1918年Jones提出雙交雜種[(AxB)x(CxD)](A,B,C,D為不同的自交系)生產才解決這個經濟生產的問題。但至1930年代後期雙交雜種的產量才顯著的增加，至1980年代後北美洲有70%的玉米為單交雜種，這是因為自交系經過改良後有相當良好的種子產量。

一、自交系的選拔

通常可從二親雜交分離的族群，回交，改良過之天然授粉品種，合成品種中選拔而得。在自交作物中所用的育種方法大致上均可應用在自交系的育成上，質的性狀可以由自交系親本傳遞至其F_1後裔上，但量性狀，自交系表現的好壞與其F_1的表現無關，因此，組合力的檢定就成為必須的程序，而再根據結果選擇有潛力產優良F_1雜種的自交系親本。

一個自交系與其他自交系之雜交後裔的表現可以以組合力表示之。例如6個自交系，某一自交系與其他5個自交系交配後之平均表現，此即為該自交系的一般組合力，而特殊組合力指的是某一自交系與另一自交系交配之雜種後裔之表現。育成之單交，雙交，三交等雜種數目分別可以以下公式表示之：

$$SC=n(n-1)/2,\ DC=n(n-1)(n-2)(n-3)/8,\ 3\text{-}C=n(n-1)(n-2)/2$$

50個自交系，不含反交及自交，就有1225個單交，58800個三交，690990個雙交。為避免這麼龐大的數目的交配，頂交的設計就需要被利用，將一個天然授粉的品種與受測之自交系交配後，評估其後裔的表現，也就是評估自交系的一般組合力（GCA），高GCA的自交系再進一步評估其特殊組合力(SCA)，不過目前已知以自交系為檢定親之下可以同時曉得受測基因型的GCA和SCA，這個結果可以（1）減少檢定親（寬遺傳基礎）需大量樣本與受測自交系的交配所造成的勞力消耗，（2）可快速育成一個雜種品種，特別是檢定親已是一個商業生產用的親本。

二、玉米雙交雜種產量的評估

利用Jenkins的方法B：估測值

DC[(AxB)x(CxD)]=[(AxC)+(AxD)+(BxC)+(BxD)]/4。

雜種的生產

一、雜種種類

1.單交種，自交系A，B間的交配。

2.雙交種，例如自交系[(AxB)x(CxD)]的交配。

3.三交種，例如自交系[(AxB)xC]的交配。

雜種生產策略

一、人工去雄授粉

二、昆蟲媒介授粉

1.自交不和合性 — 十字花科蔬菜如甘藍，花椰菜等（圖2）。

2.雄不稔性 — 如洋蔥，白菜，蘿蔔等（圖3、4）。

3.全雌性或高雌性 — 如全雌性胡瓜（圖5、6）。

4.生長素的利用 — 如乙烯處理胡瓜，南瓜使暫時成全雌性，以便產生雜交種子。

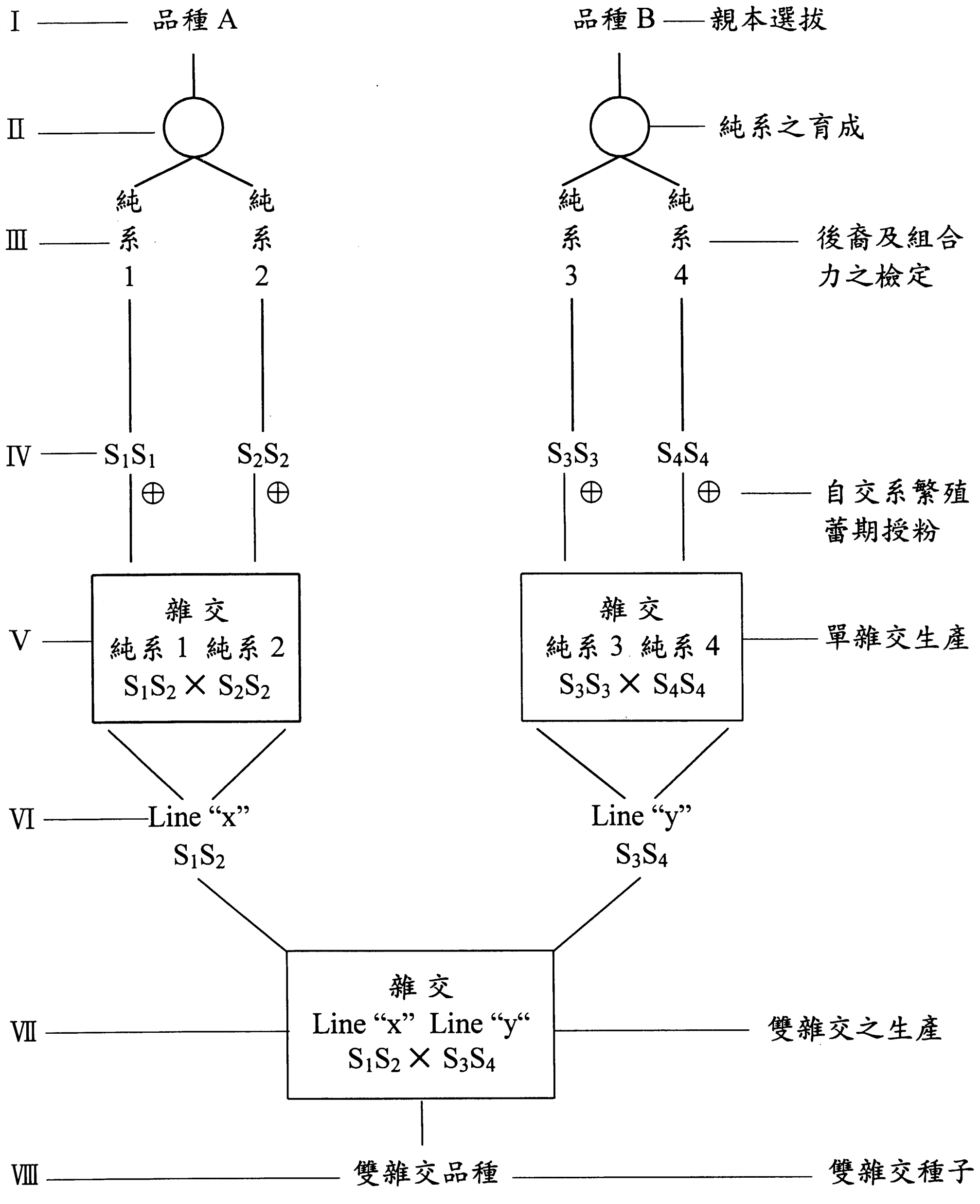


圖 2. 十字花科蔬菜雙雜交種育種程序及生產方式（引自蕭 1997.）

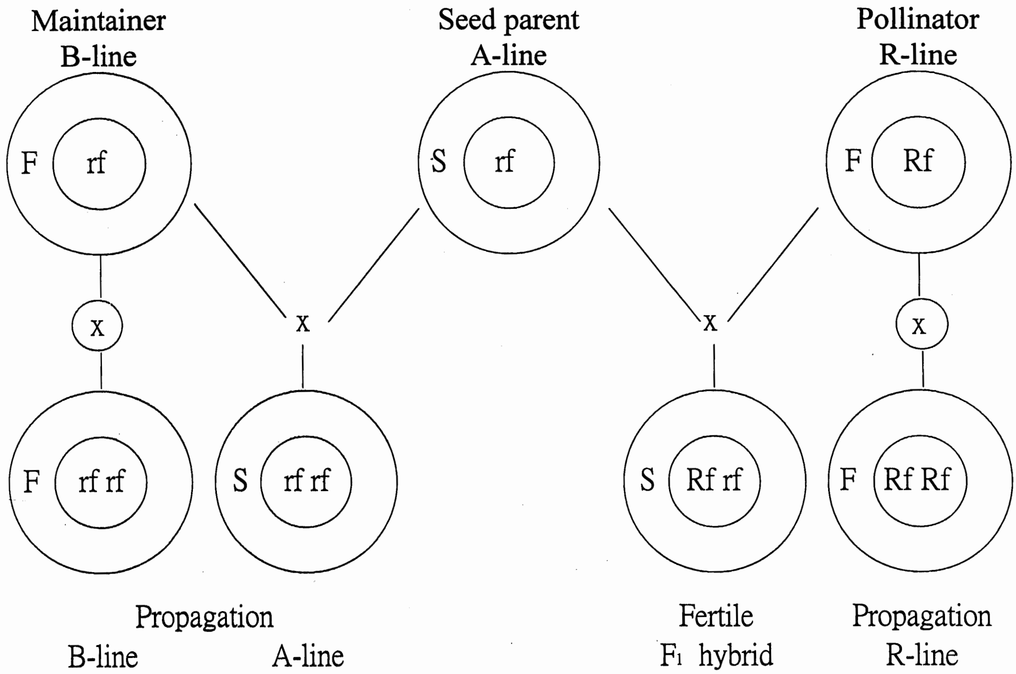


圖3. 利用遺傳及細胞質雄不稔性生產雜種種子之模式（Borojevic 1900. Fig16.1）

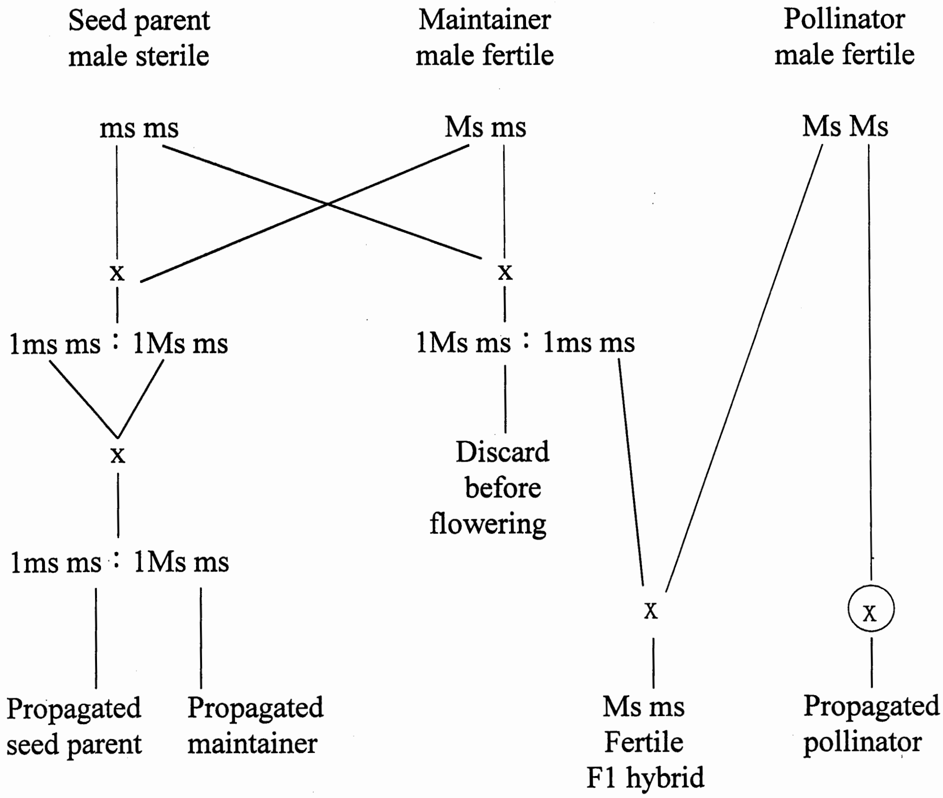


圖4. 利用遺傳的雄不稔性生產雜種種子之模式（Borojevic 1990. Fig16.2）

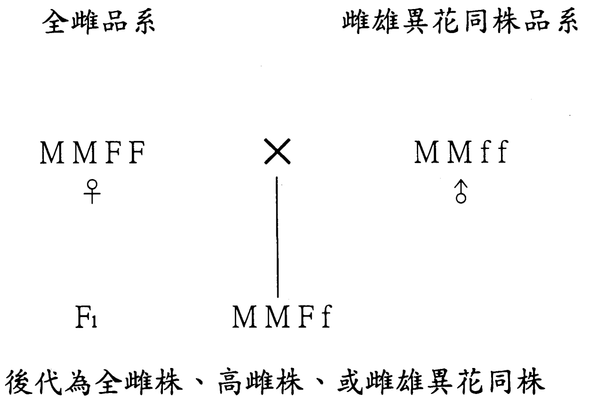


圖 5. 利用全雌性胡瓜品系生產F_1之方式（引自蕭 1977.）

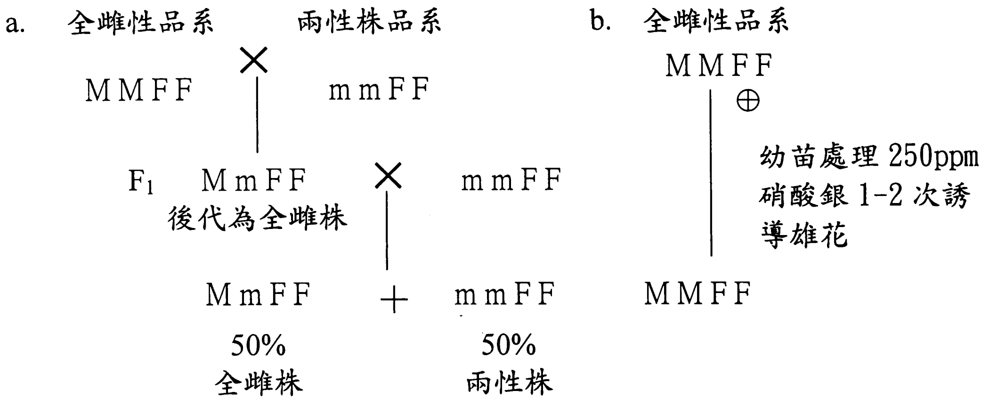


圖 6. 全雌性品系之維持方式（引自蕭 1997.）

參考文獻

1.蕭吉雄　1997　蔬菜一代雜種之生產策略。

2.Borojevic,S. 1990. Principles and methods of plant breeding. Elsevier. New York.

3.Briggs, F.N. & P.F. Knowles. 1967. Introduction to plant breeding. Reinhold Publishing Co. U.S.A.

4.Rood, S.B., D.J. Major, M.D.Jones, & R.P. Pharis. 1985. Low temperature eliminates heterosis for growth and gibberellin content in maize. Crop Sci. 25:1063-1068.

5.Russell, W.A., S.A. Eberhart, & U.A. Vega O. 1973. Recurrent selection for specific combining ability for yield in two maize populations. Crop Sci. 13:257-261.

6.Tsaftaris, A.S., & M. Kafka. 1998. Mechanisms of heterosis in crop plants. J of Crop Production. 1:95-111.

7.Walejko, .N., & W.A. Russell. 1977. Evaluation of recurrent selection for specific combining ability in two open-pollinated maize cultivars. Crop Sci. 17:647-651.

蔬菜抗病篩選技術

王 添 成

亞洲蔬菜研究發展中心

台灣處於亞熱帶及熱帶，在高溫多溼的環境下栽培蔬菜，常常遭受細菌、真菌、病毒、類病毒及根瘤線蟲等的嚴重危害，因此病害的發生與危害是蔬菜生產的重要限制因子之一，所以蔬菜病害的防治已是蔬菜生產過程中不可缺少的重要工作。

一般而言，蔬菜病害防治方法可包括法規防治法、物理防治法、耕作防治法、生物防治法、化學防治法及綜合防治法等等(3,5)。到目前為止，生物防治法中應用最多的乃是選育及利用抗病品種。所謂栽培抗病品種乃是利用植物之遺傳性質降低病原的活力及致病效應，其目的在破壞病原的生活史或延遲任何接種原之產生而達到防治目的。假如有抗病品種可利用時，栽培抗病品種是一種最簡單、最便宜、最安全和最有效的病害防治方法。雖然某些蔬菜病害可以化學藥劑防治，然而在環保意識逐漸高漲的今日以及農藥殘毒威脅之陰影下，若有抗病品種可供農民利用，則必可大幅降低農藥的施用量，減低生產成本，減少不必要的環境污染而且更可讓消費者安心地食用各類蔬菜。另外，像很多引起維管束病變之病原以及病毒病等均無法有效地利用其他方法防治時，培育抗病品種即成為唯一有效之途徑。因此，近年來蔬菜作物的抗病品種之育成已較其他育種目標更受注意。美國的 85%以上蔬菜生產區域都已栽培耐病品種或抗一種或一種以上病害之抗病品種(18)。

抗病品種依其性質可分成下列兩類：1)具專一的抗病性或垂直抗病性(specific or vertical resistance)：此類植物的抗病性是受一對基因的控制，對某些既定的病原小種或病原具有抵抗效力，抗病效力相當明顯。然而此類抗病植物也容易由於病原的變異而喪失其抗病性。環境因子如溫度等無法改變此類植物的抗病性或程度。2)具一般的抗病性或水平抗病性(general or horizontal resistance)：此類植物的抗病性是受好幾對基因的控制，可對抗幾種不同的病原小種，所以病原不易變異產生新種摧毀寄主，因此也不容易將多量基因完全導入一新品種內。此類植物的抗病性所表現的結果並非絕對性，環境因子會影響到植物對病原的抵抗程度(3, 5, 15)。

蔬菜的抗病品種之培育已有很多顯著成功的例子，諸如抗萎凋病(Fusarium wilt)的豌豆及西瓜，抗萎凋病(Fusarium wilt, Race 1)，晚疫病(late blight)，灰斑病(gray leaf spot)，潰瘍病(bacterial canker)及 Verticillium wilt 的番茄品種，抗炭疽病(anthracnose)、瘡痂病(scab)、角斑病(angular leaf spot)及嵌紋病毒(mosaic virus)的瓜類，抗晚疫病(late blight)及瘡痂病(scab)的馬鈴薯，抗炭疽病及 halo blight 的豆類，抗疫病(Phytophthora blight)及葉斑病(Cercospora leaf spot)的番椒及抗萎凋病(Fusarium wilt)的甘藍等等，成效非凡(1,18)。

抗病育種的步驟大致上可以分為： 1)研發抗病篩選技術； 2)尋找抗病基因；3)進行雜交及抗病基因的轉移； 4) 雜交後代的抗病篩選； 5)進行觀察、產量及區域試驗； 6)品種的命名、登記、繁殖及推廣。由此可見抗病篩選是蔬菜抗病育種的首要工作。

蔬菜病害的發生乃是由寄主、病原菌及環境等三個主要因子共同作用而產生，因此抗病篩選技術的研發需針對這三個因子詳加探討，換言之，也就是要設計一個環境讓供試植株適合發病而能檢定其抗感病反應。所以若能對下列數項工作深入研究則抗病篩選工作較容易成功而且所得結果亦較為準確。

一、寄主植物

1.寄主植物株齡大小的決定：

進行抗病篩選之前，需研究瞭解在寄主多大的株齡接種測得的抗感病反應最為穩定、正確而且經濟、有效率。近年來流行的苗期抗病性篩選是最經濟而且最有效率的檢定方法。

2.接種部位的決定：

針對病原菌侵入寄主的部位深入探討接種寄主的那個部位最容易表現病徵以及最容易鑑定其抗感性反應以作為篩選的標準。

3.抗感病對照品種的決定：

不論取自文獻或自己的測試，在正式進行抗病篩選之前，最好能對抗感病對照品種有所決定，才能使檢定結果的抗感病等級評估有所依據。

4.種子純潔度問題：

種子的純潔度常常影響篩選結果、抗感病等級的評估，需特別注意。

二、接種源

1.先瞭解病原菌的生活史，才容易訂出最適當的接種時期以及接種方法。

2.保存病原菌的最佳培養基及保存環境，以免其病原性降低或喪失。

3.病原菌有無生理小種存在及其變異問題，均需深入瞭解。

4.針對產孢的病原菌，需研發最適合其產孢之培養基及最佳的產孢環境，以便於短時間內獲得豐富的接種源。

5.探討病原菌的繁殖生長到接種所需之最適當時間，以免使用到老化的接種源而影響檢定結果。

6.探討最適當的接種濃度，才能正確地檢定抗感性反應。

三、接種方法

針對各種不同的病害，有其不同的接種方法，大致上有下列幾種：

1.菌絲塊接種(Mycelial inoculation)

2.噴霧接種(Atomized spray)：加壓與不加壓

3.注射接種(Injection)

4.針刺接種(Pin-prick)

5.磨擦接種(Leaf wounding)：人工擦拭與機械磨擦

6.土壤灌注接種(Soil-drenching)
7.切根接種(Root-wounding)
8.離葉接種(Detached-leaf culture)
9.剪葉接種(Leaf-cutting)
10.嫁接接種(Grafting)
11.種子浸漬接種(Seed soaking)
12.自然感染接種(Natural infection)
13.昆蟲媒介接種(Insect vector)
14.卵塊接種(Egg inoculation)

四、接種後環境因子的調控

寄主經人工接種病原菌後至病徵表現前的這段期間，各種環境因子諸如溫度、相對溼度、光照及葉面溼潤期間長短等等對所接種病原之侵入、感染、病斑擴展及病徵表現影響極大，因此需詳加研究這些環境因子的調控，以期能得到正確的接種結果。

五、病害嚴重度的評估及鑑定寄主抗、感病反應標準的訂定

若文獻上已有標準的病害嚴重度評估方法以及抗感病反應標準等級，則可加以利用或修正，否則就需針對已有的抗病、中等抗病、中等感病、感病等品種在多種環境下以自己收集的病原菌反覆進行檢測，以研發準確而且穩定的抗感病檢定等級。

為能讓大家對抗病篩選技術的細節更加瞭解，以下列舉亞蔬中心這些年來對於台灣的主要茄科蔬菜諸如番茄、番椒及茄子等的重要病害包括細菌、真菌、病毒、根瘤線蟲等等所研發的抗病檢定方法及進行檢定時應注意的事項供為參考(1)：

一、番茄(Tomato)

1.青枯病(Bacterial wilt) 抗病性檢定方法(9)

(1)接種植株的準備：

將供試番茄種子播種於直徑 9 公分塑膠軟盆內蒸氣消毒過的培養土(土：砂：稻殼：堆肥=3 ： 1 ： 1 ： 1 ， v/v)中，發芽後每盆疏苗成 1 株。每供試品種(系)各接種 10 株測試之。以感病品種 L 390 及抗病品種 Hawaii 7997 作為對照。當株齡 28 天時，即可進行接種。

(2)菌種保存及接種源的準備：

此病害是由 *Ralstonia solanacearum* 所引起。將 1 ml 的蒸餾水裝入 2 ml 可滅菌的塑膠保存管內，經高壓滅菌後，再移入純化的細菌，於室溫下保存。另外，也可將 1 ml 含有 30%甘油的 NB (Nutrient broth)裝於 2 ml 可滅菌的塑膠保存管內，經高壓滅菌後，再移入純化的細菌，放於-80°C 低溫保存。接種前，先將青枯病菌劃平板於 TZC 培養基(Triphenyl tetrazolium chloride medium)，放於 30°C ，經 48 小時培養，再挑取典型

的單一菌落，懸浮於無菌水中，取 0.3 ml 細菌懸浮液塗抹於 523 培養基或直接劃平板於 523 培養基增量，再放於 30°C ，經 24 小時培養作為接種源。

(3)人工接種及接種後放置的環境：

上述的每盆培養土內接種青枯病菌 Pss 4 菌株(race 1, biovar3)之懸浮液各 30 ml (A_{600}=0.3,約 10^8 cfu/ml)。接種後將植株移至溫室內，溫度需維持在 25-35°C 。

(4)病害嚴重度的調查：

接種後第 4 、 7 、 10 、 14 、 21 、 28 天調查每個供試品種(系)的萎凋百分率。最後選取存活百分率超過 30%的品種(系)再進行一次檢定。進行第二次抗病性檢定時，需安排每品種(系)接種 12 株，三重覆，逢機完全區集排列之，同樣以感病品種 L 390 及抗病品種 Hawaii 7997 作為對照。接種後將植株放置於 28°C 的恆溫室中。於接種後第 4 、 7 、 10 、 14 、 21 及 28 天根據 Winstead & Kelment's rating scale (20)調查每個供試品種(系)的萎凋百分率。然後再計算其 disease index 及病害進展曲線下面積值(Area under disease progress curve, AUDPC) (17)，根據所得的面積值可檢測其抗感病反應。

Winstead & Kelment 的青枯病病害調查等級如下： 0=無病徵出現； 1=1 個葉片呈現部份萎凋； 2=2 個或 3 個葉片呈現萎凋； 3=除掉頂端 2 個或 3 個葉片外，其餘葉片均呈現萎凋； 4=所有葉片均呈現萎凋及 5=植株死亡。

Disease index=$[(N_0x1+N_1x1+N_2x2+N_3x3+N_4x4+N_5x5/NTx5)]x100\%$

AUDPC=$0.5x[(Y_i+Y_{i+1})x(X_{i+1}-X_i)]$

Y=disease incidence; X=days after inoculation

2.細菌性斑點病(Bacterial spot) 抗病性檢定方法(8)

(1)接種植株的準備：

先播種供試番茄種子於蛭石中，待發芽後再單株移植至直徑 9 公分的塑膠軟盆內之培養土，並放置於溫室內，五重複，每重複至少 6 株。以 Hawaii7998 作為抗病對照品種， CL5915-153-3-3-0 作為感病對照品種。株齡 30 天即可接種。

(2)菌種保存及接種源的準備：

此病害是由 *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* 所引起。此菌菌種的保存可參照上述青枯病的保存法。接種前先將細菌性斑點病菌 Strain XVT-28 (Race 1 of tomato-pepper group)培養於 523 培養基，放置於 30°C ，經過 48 小時培養後，再挑取單一菌落，懸浮於無菌水中，吸取 0.3 ml 細菌懸浮液塗抹於 523 培養基或直接劃平板於 523 培養基增量，

放置於 30°C ，經過 24 小時培養作為接種源。洗下的細菌懸浮液濃度先調整到 O.D.=0.3 at 600 nm ，約 10^8 cfu/ml ，再稀釋成所需的濃度 10^6 cfu/ml 。

(3)人工接種及接種後放置的環境：

接種方法乃是將番茄苗株反轉而把地上部份浸泡(dipping)於懸浮液中30秒，此懸浮液中含有0.02% (v/v)的L-77 (Union carbide)，它是一種減少表面張力的溶液。然後將接種後的植株移至溫室(28°C)內。每次檢定時需重複測試兩次，接種後按逢機完全區集排列，各五重複檢測之。

(4)病害嚴重度的調查：

當接種後約 8-12 天，俟接種植株上之病斑完全展現時，估測每植株葉面積受害的百分率並按 Barratt & Horsfall (14)訂定的病害調查等級記錄每株被害等級，再計算每個供試品種(系)每重複的平均值。

Barratt & Horsfall 細菌斑點病調查等級：

病害等級	葉面積被害百分率
0	0
1	0-3
2	3-6
3	6-12
4	12-25
5	25-50
6	50-75
7	75-88
8	88-94
9	94-97
10	97-100
11	100

3.晚疫病(Late blight)抗病性檢定方法(8, 9, 12)

(1)接種植株的準備：

將供試番茄種子播種於直徑 6 公分塑膠軟盆內蒸氣消毒過的培養土中(土：砂：稻殼：堆肥=3 ： 1 ： 1 ： 1 ， v/v)，疏苗成每盆 1 株。每種材料各檢測 8 株。以 TS-33 或台中亞蔬四號作為感病對照品種而以 L 3708 作為抗病對照品種。再次檢定時，每種供試材料皆準備 24 株，分成 4 重複。株齡 30-35 天時即可接種。

(2)菌種保存及接種源的準備：

此病害是由 *Phytophthora infestans* 所引起。菌種保存時，先將此菌培養於裸麥 A 瓊脂(RAA) (13)的斜面試管內，放置 20°C 恆溫箱中生長，

待菌絲長滿全部斜面後，加入礦物油(Heavy white oil)至蓋滿菌絲為止並保存於 16°C 恆溫箱中。接種之前，首先將保存於礦物油內的菌種移出到裸麥 A 瓊脂(RAA)的斜面試管內，放置 20°C 恆溫箱中生長。經 12-20 天培養產孢後，加入 3 ml 的無菌水到斜面試管內，再以移植針磨擦菌落表面以釋放孢囊而製成孢囊懸浮液(10^3-10^5 孢囊/ml)。然後吸取 0.3 ml 孢囊懸浮液滴入已準備好的 RAA 平板(直徑 9 公分)內，再以消毒過的“L”形玻棒均勻蓋過平板的表面。將這些接種過的 RAA 平板培養於無光照的恆溫箱(20°C)中。經過 12-14 天後，每個平板都加入 15 ml 的無菌水再以“L”形玻棒磨擦菌落表面以收集孢囊懸浮液，連續做三次。全部收集的孢囊懸浮液以兩層紗布過濾之以除去菌絲碎片。最後以血球計數器計算孢囊的濃度並調至5×10^4/ml並移至12°C的恆溫箱中至少經過2小時以利游走孢子的釋放。

(3)人工接種及接種後放置的環境：

當播種後30至35天時，以微霧噴霧器將晚疫病菌株Pi 39(Race T2)的游走孢子/孢囊懸浮液均勻噴霧接種至每個植株的葉表面及莖部，直到滴落為止。接種後，將植株放在20±2°C，無光照而且100% RH的生長室維持24小時。然後將相對溼度調為60-95%而且每天照光(70 $\mu E \bullet m^{-2} \bullet s^{-1}$) 14小時。

(4)病害嚴重度之調查及抗感病反應之分類：

A.病害反應等級：

接種後第 7 天及第 10 天分別調查每個植株葉面積被害百分率，再依下列等級歸列之： 0=無病徵出現； 1=≤5%葉面積被害而且病斑相當細小； 2=6-15%葉面積被害而且呈現限制型病斑； 3=16-30%葉面積被害而且莖部無病斑； 4=31-60%葉面積被害而且或莖部出現少許病斑； 5=61-90%葉面積被害或莖部出現擴展型病斑；及 6=91-100%葉面積被害或莖部受害嚴重或植株死亡。

B.抗感病反應的分類：

當求取每種供試材料四個重複的病害等級平均值後，再依下列三個等級分類其抗感性反應：高度抗病=0-2.5 等級；中度抗病=2.6-4.0 等級；感病=4.1-6.0 等級。

4.黑黴病(Black leaf mold)抗病性檢定方法(7,8,9)

(1)接種植株的準備：

將供試番茄種子播種於直徑 6 公分塑膠軟盆內蒸氣消毒過的培養土中(土：砂：稻殼：堆肥=3 ： 1 ： 1 ： 1 ， v/v)，疏成每盆 1 株。每種材料各準備 24 株，分成 4 重複，按逢機完全區集排列於溫室內。以台南選 2 號(TN 2)作為感病對照品種而且以 L 733 為抗病對照品種。

(2)菌種的保存及接種源的準備：

此病害是由 *Pseudocercospora fuligena* 所引起。菌種保存時，先將此菌培養於番茄葉抽出液混合麥精片抽出液培養基(Tomato Oatmeal agar, TOA) (2)平板上。TOA 培養基是將 50 公克罹病品系番茄葉碎片加入 500 ml 蒸餾水煮沸，取其過濾汁液。另外以 15 公克燕麥片加入 500 ml 蒸餾水煮沸，取其過濾液與番茄葉汁液等量混合後，每公升再加入 20 公克瓊脂粉，經高壓滅菌後，先調整 pH 值為 6.0 再倒成平板。經 7-10 天，28°C，每天照光12小時的培養產孢後，加入脫脂奶粉沖泡且經高壓滅菌後的牛乳而製成孢子懸浮液，再吸取滴入0.4ml裝有矽膠凝體(Silica gel) (16)的小試管(14x60 mm)內，放於4°C恆溫箱保存。

接種之前，可先將保存菌種(pf-2)的矽膠凝體撒於TOA平板上，放於28°C恆溫箱，每天照光12小時，經7-10天培養產孢後，再大量繁殖製成孢子懸浮液，濃度調為$1x10^4$分生孢子/ml做為接種源。

(3)人工接種及接種後放置的環境：

當供試材料種植 28-30 天後，以微霧噴霧器將孢子懸浮液均勻地接種至所有測試的植株葉片，直到滴落為止。接種後，將植株放在 28±2°C，無光照而且 100% RH 的生長室內維持 24 小時，然後將相對溼度調為 98±2%而且每天照光(70 $\mu E \bullet m^{-2} \bullet s^{-1}$) 14 小時。每種供試材料按逢機完全區集設計排列之。

(4)病害嚴重度的調查及抗感病反應之分類：

接種後第14天調查每植株葉面積被害百分率，再計算每種供試材料葉面積被害百分率的平均值，最後參考抗、感病對照品種(系)的被害百分率及下列等級分類其抗感病反應：抗病(R)=<10%葉面積被感染，類似 L 733；中等抗病(MR)=10-30%葉面積被感染；中等感病(MS)=30-50%葉面積被感染；感病(S)=50-70%葉面積被感染及高度感病(VS)=>70%葉面積被感染，類似TN 2。

5.萎凋病(Fusarium wilt)抗病性檢定方法(9, 10)

(1)接種植株的準備：

將供試番茄種子播種於消毒過的河砂與Peat-lite (Bio-Mix potting soil)混合 (2：3 v/v)的培養土中。每種供試材料均需有 24 株，分成 4 重複，以供 1 個菌株接種之用。下列五種標準的對照品種需排列其中： Bonny Best (無抗病性)， Fantastic (無抗病性)， UC 82-L (抵抗 Race 1)， Florida MH-1(抵抗 Race 1 & 2)及 I3R-1(抵抗 Race 1,2,3)。

(2)菌種的保存及接種源的準備：

此病害是由 *Fusarium oxysporum* f. *lycopersici* 所引起。菌種保存時，先將此菌培養於 PDA 斜面試管內，經 7-10 天，28°C，每天照光 12 小時的培養產孢後，加入脫脂奶粉沖泡的牛乳且經高壓滅菌後而製成孢子懸浮液，再吸取0.4ml滴入裝有消毒過的矽膠凝體(16)的小試管(14x60 mm)內，放於4°C恆溫箱保存。

接種前 7-10 天，可先將保存菌種(Race 1 & 2)的矽膠凝體撒於 PDA 平板上，放置於 25°C 恆溫箱中。待長出後即可大量繁殖之。接種前，以每平板配合 125 ml 的無菌水之比例在果汁機內打碎 10 秒鐘製成菌泥。

(3)人工接種及接種後放置的環境：

接種時，先將播種後2週欲檢測的苗株拔起，稍加振動，使附著於根部的土壤混合物掉落，再將根部浸泡在菌泥中3-5分鐘，然後移植到裝有上述培養土的穴植盤中(4.2x4.2x5.5 cm/穴)。接種後的植株，需安排於溫度等於或超過25°C的溫室或生長室內。接種後1週及2週施予水溶性肥料1,000倍(BASF Foliar Nitrophoska, 20:19:19:0.5)。

(4)病害嚴重度的調查及抗感病反應之分類：

當接種三週後，根據下列等級調查每一植株的反應： 0=無病徵； 5=矮化且維管束變褐色； 7.5=嚴重矮化而且維管束變色； 10=嚴重地萎凋或死亡。任何一個供試材料其每一植株病害嚴重度的平均值小於 5 時，即可歸列為抗病反應。至於抗那一個生理小種，則需與對照品系相比較。

6.番茄嵌紋病毒病(Tomato mosaic virus, ToMV)抗病性檢定方法(10)

ToMV 是保存於煙草(*Nicotiana tabacina* Samsun)葉片。大量接種前，利用純化過的 Tomato strain 0 和 1 以 0.01 M ， pH 7.0 的磷酸鈉緩衝液稀釋 20 倍，並加 2%的 Celite 替代金鋼砂，然後以壓力噴霧槍，來回三次高壓噴霧(3.5 kg/cm^2)在剛長完第二本葉的幼苗葉片上。少量接種時，可先撒佈金鋼砂於葉面上，再用棉花棒沾接種源塗抹之。當兩種方法接種完成後，隨之以清水沖洗葉片，以減少傷害，並放置於溫室內。每種供試材料至少測試 24 株。 TK 70 做為感病對照品種。接種 1 週後，檢查每個植株病斑出現與否，再計算每種供試材料的植株出現病徵百分率。最後依照下列等級歸類供試材料的抗感病反應：免疫=0%植株感染；抗病=<20%植株感染；中等抗病=21-40%植株感染；中等感病=41-75%植株感染；感病=>75%植株感染。

7.胡瓜嵌紋病毒病(Cucumber mosaic virus, CMV)抗病性檢定方法(6, 8, 10)

CMV 的兩個菌株 Peets 及 NT-9 是保存於煙草(*N. glutinosa*)葉片。當供試材料第二本葉完全展開時，取 1 克的 Peets 菌株罹病葉加 4 倍的 0.03 M 、pH 7.0 之磷酸緩衝液含 0.5%亞硫酸鈉(Na_2SO_3)、 sodium diethyldithiocarbamate (1.7 g/l)及 charcoal (100 mg/l)製成接種源，以人工擦拭法接種於葉片上。一週後，再以同樣方法接種第二菌株 NT-9 。再經兩週後，除非病徵特別清楚，否則摘取每個植株葉片以酵素免疫分析法(ELISA)測試之。出現負反應的植株自第三葉以上部份剪掉，待新葉長出後再接種上述兩個菌株之混合液。經兩週後仍再以 ELISA 測試之。以 TK 70 做為感病的對照品種。依上述方法歸類供試材料之抗感病反應。

8.馬鈴薯 Y 病毒病(Potato virus Y, PVY)抗病性檢定方法(10)

PVY 是保存在煙草(*N. tabacina* Xanthi)葉片。除接種株齡約在種植後 25 天(4-5 葉)左右外，其餘均照上述 CMV 抗病性檢定方法進行測試。

9.番茄黃化捲葉病毒病 (Tomato yellow leaf curl virus, TYLCV) 抗病性檢定方法(6, 8, 9, 10)

TYLCV-TW 是保存在罹病的 TK 70 番茄葉片。先在網室內種植罹病的 TK 70 番茄，繁殖媒介昆蟲銀葉粉蝨。當供試番茄材料長至 2-3 本葉時，移入網室內接受媒介昆蟲傳毒。經過一個月後，沒病徵出現的植株取回葉片在實驗室以核酸雜合(nucleic acid hybridization)方法測試病毒存在與否? 最後再以上述的等級歸列供試材料之抗感病反應。

10.根瘤線蟲(Root-knot nematode)抗病性檢定方法(4)

由於所用抗根瘤線蟲種源，分別來自美國夏威夷和加州兩個不同系統，前者只能用人工接種法測試之(接種濃度 2,000 eggs/植穴)，而加州系統具有 Mi 基，與 'Aps-1' 基因連鎖，所以後者用人工接種法或澱粉膠體電泳法(Starch gel electrophoresis method, SGE)均可。

(1)人工接種檢定法(Egg inoculation method)：

A.取自病原繁殖圃之罹病番茄根部清洗後並切碎，放入大型三角瓶內，加入適量的漂白水(NaOCl ，有效成份 0.5%)，充分振盪 2-4 分鐘，以洗下卵，不可太久，否則卵會死亡。

B.迅速以 200 目及 500 目的細篩過濾網(200 目者在上層)過濾之。

C.洗下之卵再立即以自來水清洗乾淨。

D.用蒸餾水稀釋成為濃度 1,000 卵/毫升。

E 檢定供試材料前先注入 2 毫升接種源於每個植穴內，再移入株齡 10 天的番茄苗並覆土(土：砂=2 ： 1)，每天定量澆水。

F.接種一個月後，小心挖取供試植株根部，再按 1978 年 Sassar, J.N.與 Taylor, A.L. (19)訂定的標準等級調查記錄其感染等級，等級分類如下：0 (極度抗病)=沒根瘤出現；1 (抗病)=每株 1-2 個根瘤；2 (中度抗病)=每株 3-10 個根瘤； 3 (中度感病)=每株 11-30 個根瘤； 4 (感病)=每株 31-100 個根瘤； 5 (極度感病)=每株根瘤超過 100 個。

G.每次檢定時，皆需包含已知的感病品種(Tk-70)及抗病品種(L-345 (Calmart))作為對照。

(2)澱粉膠體電泳法(Starch gel electrophoresis method)：

A.澱粉水解和膠體製備：

a.將 1 公斤馬鈴薯澱粉加入 1 公升丙酮(acetone)，放置燒瓶中並封住瓶口。

b.於 50°C 恆溫下水浴 4 小時後，加入 10 c.c.的濃鹽酸水解 80 分鐘，再利用真空幫浦抽真空以除去上層丙酮。

c.置於漏斗中水洗約 5 分鐘後，再加入丙酮 500 ml 去水、風乾。

d.將澱粉加入膠體緩衝液，配成 10-14%澱粉液。

e.置於沸水中加熱並搖動(即加熱糊化)，使澱粉變成透明膠體，趁熱抽氣，除去氣泡。

f.置於已抹上石腊之壓克力電解槽中，以玻璃片壓平，冷卻即成膠體，存入冰箱備用。

B.樣品製備及電泳法：

a.採取新鮮番茄幼葉 1 片(4-5 本葉期)，加入萃取液磨碎之，然後以小塊濾紙吸取汁液，再置入膠體中。

b.膠體平置於電解槽中，兩邊以濾紙連接膠體和電泳緩衝液，膠體上覆以保鮮膜。

c.電壓調至 270 volt，約經 3-4 小時後，待膠體上之記號跑至約 8 公分長時，切斷電源，取下膠體。

C.染色和固定：

將膠體剖切成兩半，置於染色盤中，再加入染色液染色約 4 小時，倒出染色液再加入固定液保存。

D.膠體之判別：

依據膠體最上面的三條染色帶、染色程度及顯現程度加以判別抗感病反應。

a.若呈現三條淺色的染色帶，則為抗病異質體 $Aps\text{-}1^{1/+}$。

b.若最上方呈現一條淺色的染色帶，則為感病個體 $Aps\text{-}1^{+/+}$。

c.若只出現最下方的染色帶且染色極深，則為抗病同質體 $Aps\text{-}1^{1/1}$。

近年來由於生物科技的進步，已開發國家的番茄品種改良研究均已利用生物科技來加速進展。目前亞蔬中心的番茄抗病育種計畫也已利用多項生物技術正積極進行各項抗病檢定，諸如鑑定與晚疫病抗病基因相連接的 RAPD marker 以及與 CVMV 連接的 RAPD marker，以提高抗病檢定之效率。利用 DNA probes & primers 偵測番茄的青枯病菌及番椒的細菌性斑點病菌，利用 PCR (polymerase chain reaction) 偵測番茄組織的青枯病菌，應用 Molecular marker 的技術加速 TLCV-TW、CMV、PVY 抗病基因的逐步轉移，以及利用 Embryo cloning technique 使 *L. escu.* x *L. chilense* 的雜交後代具有 TLCV-TW 的抗病性(8, 9, 10)。

二、番椒(Pepper)

1.胡瓜嵌紋病毒病(Cucumber mosaic virus, CMV)抗病性檢定方法(9, 10)

CMV 是保存於煙草(*N. glutinosa*)葉片。取 1 克的罹病葉加 4 倍的 0.1 M，pH 7.0 的磷酸緩衝液含 0.1 M disodium ethylenediaminetetraacetate (EDTA)、0.02 M sodium diethyl-dithiocarbamate (DIECA)、0.17 M ascorbic acid (vitamin C)製成接種源。當供試材料長出第一本葉並完全展開時，以人工擦拭法接種於葉片上。每種供試材料至少都接種 24 株，以 Yolo Wonder，Early calwonder 及 Florida VR-2 做為感病對照品種。待供試材料長至第五本

葉時，只留下方1至4本葉而將頂端部份剪去，再以人工擦拭法接種於第3本葉。經兩週後，摘取新長出的嫩葉以 ELISA 法測試之。再計算每種供試材料的植株呈現正反應的百分率並與對照品種比較之。

2.番椒葉脈斑駁病毒病(Chili veinal mottle virus, CVMV)抗病性檢定方法（9, 10）

CVMV 是保存於煙草(*N. glutinosa*)葉片。當供試材料長至3-4本葉時，取1克的罹病葉加4倍的0.1 M ，pH 7.0的磷酸緩衝液(方法如上述 CMV)製成接種源，以人工擦拭法接種於葉片上。每種供試材料至少都接種24株，以 Yolo Wonder ，Early calwonder 及 Florida VR-2 做為感病對照品種。隔1週後，再以同樣方法接種一次。經兩週後，取回無典型病徵出現之植株葉片，以 ELISA 法測試之。留下呈現負反應之植株並剪去頂端部份，經1週後，待新葉長出再接種一次。經兩週後並無出現病徵者，取回葉片再以 ELISA 測試之。

3.馬鈴薯Y病毒病(Potato virus Y, PVY)抗病性檢定方法(9, 10)

PVY 是保存於煙草(*N. tabacina* Xanthi)葉片。此病毒之抗病性檢定方法完全依照上述 CVMV 的檢定方法。

4.煙草嵌紋病毒病(Tobacco mosaic virus, TMV)抗病性檢定方法(9, 10)

此病毒是屬於 Tobamovirus ，保存於煙草(*N. sylvestris*)葉片，其抗病性檢定方法完全依照上述 CVMV 的檢定方法。

5.番茄嵌紋病毒病(Tomato mosaic virus, ToMV)抗病性檢定方法(9, 10)

此病毒亦是屬於 Tobamovirus ，保存於煙草(*N. tabacina* Samsun)葉片，其抗病性檢定方法完全依照上述 CVMV 的檢定方法。

6.番椒微斑駁病毒病(Pepper mild mottle virus, PMMV)抗病性檢定方法(9, 10)

此病毒亦是屬於 Tobamovirus ，保存於煙草(*N. debneyi*)葉片，其抗病性檢定方法完全依照上述 CVMV 的檢定方法。

7.疫病(Phytophthora blight) 抗病性檢定方法(9, 10)

(1)接種植株的準備：

將供試番椒材料的種子播種於72格穴植盤(每格大小為4.2x4.2x5.5 cm^3)內的培養土中，培養土為 peat-lite mix (Bio-Mix Potting Soil ，Nevama B.V.)，發芽後每穴疏成1苗。初次檢定時，每種供試材料測試24株，進一步檢定時，每種供試材料至少測試72株，分成4個重複，安排種植於不同的穴植盤，放置於溫室內，以逢機完全區集設計排列之。每次檢定時均以 PI 201234 做為抗病對照品種，以藍星(甜椒)及 PBC 137 (辣椒， CNPH 703)做為感病對照品種。

(2)菌種保存及接種源的製備：

此病害是由 *Phytophthora capsici* 所引起的。菌種欲作保存之前，先將此菌培養於 V8 汁液瓊脂培養基的斜面試管內，放置28°C 恆溫箱中生

長。待菌絲長滿全部斜面後，加入礦物油至蓋滿菌絲為止並保存於20°C恆溫箱中。接種之前，選取致病力最強的菌株 Pc17E 培養於 V-8 汁液瓊脂培養基(直徑 9 cm)，放置於 28°C 恆溫箱中培養 7 天。取出培養基平板再以消毒過的刀片切成四等份並將每等份移至一消毒過的空培養皿內，隨之切成每塊約 0.5-1.0 cm^2。然後每皿加入無菌水，使之蓋過每一瓊脂塊，放置於室內 1-2 小時，再吸掉無菌水。隨之每皿加入 18 ml 的新鮮無菌水，讓它剛好達到每個瓊脂塊的上方邊緣。隨後將它移入 28°C 恆溫箱培養 24 小時(連續照光)，以促進孢囊的產生。再將它移入 4°C 的恆溫箱中放置 1 小時，以促進游走孢子的形成。最後將所有培養皿移到室溫下經 30-60 分鐘，以促進游走孢子的釋放。所得到游走孢子懸浮液放在低溫下保存並取出代表的樣品滴在血球計數器上放在 4°C 或放在 Slide warmer 烘一下，以固定游走孢子的游動而計算其濃度。

(3)人工接種及接種後放置的環境：

將游走孢子濃度調至 $1x10^5$ zoospore/ml，接種到株齡 30-35 天的每種供試材料的每一植株基部各 5 ml。接種後的植株安排放置在溫室內，溫度需維持在 28°C 以上，每天澆水兩次，以維持高溼度的土壤。

(4)病害反應的調查及抗感病反應的分類：

接種經過 7，14 及 21 天後，調查每種供試材料每一重複的植株存活百分率並求取每種供試材料的植株存活率，再按下述等級歸類其抗感病之反應：高度抗病=植株存活率大於 80%；中度抗病=植株存活率為 50-79%；中度感病=植株存活率為 30-49%及；高度感病=植株存活率低於 29%。

8.炭疽病(Anthracnose)抗病性檢定方法(8, 11)

(1)接種果實的準備：

先將供試材料種植於 30 公分寬的盆內，待其開花、結果、成熟時，採取每種供試材料成熟度較為一致的成熟健康果實 40 個，分為四個重複。或者亦可在田間炭疽病發生不嚴重的季節裡，採取田間健康成熟的果實作為接種之用。以 PBC 80 作為抗病對照品種，而以 PBC 714 (PI 201234)作為感病對照品種。果實成熟前一週的綠果亦可收取作為檢定之用，以便與成熟果之反應比較之。

(2)菌種保存及接種源之準備：

此病害主要由 *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. acutatum* 及 *C. capsici* 所引起。菌種保存時，先將此菌培養於 PDA 斜面試管內，在 28°C 恆溫箱中培養 5-7 天產孢後，加入脫脂奶粉沖泡且經高壓滅菌後的牛乳而製成孢子懸浮液，再吸取 0.4ml 滴入裝有矽膠凝體的小試管內，移入 4°C 恆溫箱中保存。接種之前，需決定要針對那個 species 進行檢定，再將保存那個菌種的矽膠凝體撒於 PDA 平板上，放於 28°C 恆溫箱中，每天照光 12 小時。經 7-10 天培養產孢後，加入無菌水，刮取其分生孢子，製成孢子懸浮液，濃度調為 $5x10^5$ 分生孢子/ml 做為接種之

(3)人工接種及接種後放置的環境：

前面所述的每種供試材料各 40 個果實，按完全逢機排列於一塊木板(29.5 公分 x21.5 公分)的十個條溝上。以長度 0.75 厘米的細針在每個果實的中央部位各刺一孔並注入 1 μl 的孢子懸浮液。當全部接種完畢後，關掉室內燈光，溫度調為 25±1°C，相對溼度 100%，以利病原菌的侵入感染。但應注意勿讓果實表面凝結水滴，以減少雜菌的污染。接種 24 小時後，相對溼度調為 95-98%，以防止腐生雜菌在果蒂及接種部位的繁殖。

(4)病害嚴重度的調查：

接種經 6 天後，檢查每一接種部位的病斑擴展情形，若病斑>4 厘米時，即列為感病反應。先求出每個重複果實感病的百分率，然後再求出每種供試材料的四個重複平均值，最後與抗病、感病對照品種比較之。

9.青枯病(Bacterial wilt)抗病性檢定方法(8)

(1)接種植株的準備：

先將每種供試材料播種於直徑 9 公分塑膠軟盆內蒸氣消毒過之培養土中(土：砂：堆肥：稻殼 =3 ： 1 ： 1 ： 1)。發芽後，每盆疏苗成 1 株，每一重複 8 株。每種供試材料各需三個重複，按逢機完全區集設計排列之。每次檢定以 PBC 66 (MC-4)做為抗病對照品種，而以 C 0835 (Orias Kossarv)當做感病對照品種。

(2)菌種保存及接種源的準備：

此病害是由 *Ralstonia solanacearum* 所引起。菌種的保存方法及接種源的準備工作可參照上述番茄青枯病菌的方法。

(3)人工接種及接種後放置的環境：

當供試材料萌芽後 28 天，準備青枯病菌株 Pss 71 為接種源，細菌懸浮液的濃度為 10^8 cfu/ml 。進行人工接種時，先以刀子距離植株莖基部 1.5 cm 處切斷其根部，然後均勻倒入 30 ml 細菌懸浮液到每個育苗盆的培養土中。接種後，將植株安放在溫度維持 28°C 的溫室中。

(4)病害嚴重度的調查：

接種後第 4 ， 7 ， 10 ， 14 ， 21 及 28 天調查每種供試材料的植株萎凋百分率。植株的所有葉子呈現萎凋才計算為萎凋的植株。最後與抗、感病對照品種比較之。

10.細菌性斑點病(Bacterial wilt)抗病性檢定方法(9)

(1)接種植株的準備：

先播種供試番茄種子於蛭石中，待發芽後再單株移植至直徑 9 公分的塑膠軟盆內蒸氣消毒過之培養土中(土：砂：堆肥：稻殼 =3 ： 1 ： 1 ： 1)，放於溫室內。每種供試材料各有三重複，每個重複有 8 株。以 PBC 137 (CNPH 703)為抗病對照品種，而以 PBC 485A (Nacional AG-506)為感病對照品種。

(2)菌種保存及接種源的準備：

此病害亦是由 *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* 所引起。菌種的保存方法及接種源的準備工作可參照番茄細菌性斑點病的方法。

(3)人工接種及接種後放置的環境：

當供試苗株長到四個本葉完全展開時，移入暗室經過一夜後，隔天早晨進行人工接種。接種方法乃是將苗株反轉而把地上部份浸泡於細菌性斑點病菌株 XvT 28 的懸浮液中 30 秒，其濃度為 10^8 cfu/ml 內含有 0.05% (v/v) L-77，以減少表面張力。接種後的植株放置於 28°C 的生長室內按逢機完全區集設計排列並接受自然光照射。

(4)病害嚴重度的調查：

接種 8-12 天後，根據 Barratt and Horsfall (14)訂定的病害調查等級記錄每株被害等級，再計算每種供試材料每重複的平均值(可參照上述番茄細菌性斑點病抗病等級)。最後與抗、感病對照品種比較之。

三、茄子(Eggplant)

1.青枯病(Bacterial wilt)抗病性檢定方法(8, 9, 10)

(1)接種植株的準備：

先播種供試茄子種子於直徑 6 公分的塑膠軟盆內蒸氣消毒過的培養土(土：砂：堆肥：稻殼 = 3 ： 1 ： 1 ： 1 ， v/v)中，發芽後疏成每盆 1 株。每種供試材料各種 45 株，分成三重複，按逢機完全區集設計排列於不同的育苗箱中。以 Surya 及 Terong Hijau 做為抗病對照品種，而以 EG Bonne 做為感病對照品種。

(2)菌種保存及接種源的準備：

此病害是由 *Ralstonia solanacearum* 所引起。菌種保存方法及接種源的準備工作可參照番茄青枯病菌的方法。

(3)人工接種及接種後放置的環境：

當株齡 30 天時，以斷根及土壤接種法，先用刀子距植株莖基部 1.5 cm 處切斷其根部，再將青枯病菌株 Pss 79 的細菌懸浮液(濃度為 10^8 cfu/ml) 30 ml 倒注於每盆土壤中，使土壤溼透。接種後維持土壤的高溼度並且安放於溫度維持在 25-32°C 的溫室內。

(4)病害嚴重度的調查：

接種後，每天觀察病害的進展並記錄每種供試材料呈現萎凋及死亡的日期。除外，每 7 天按下列等級調查每種供試材料各個植株之病害反應：0=無病徵出現；1=僅 1 個葉片呈現萎凋；2=2-3 葉片呈現萎凋；3=除頂端 2-3 葉片外，其餘葉片均萎凋；4=所有葉片均呈現萎凋；及 5=死亡。一直調查至接種後 28 天為止。調查結束時再以下列公式計算求得 Disease index = $[(N_0 \text{x}1 + N_1 \text{x}1 + N_2 \text{x}2 + N_3 \text{x}3 + N_4 \text{x}4 + N_5 \text{x}5 / \text{NT x}5)]\text{x}100\%$。

計算所得 Disease index (DI)再依據下列等級歸類供試材料的抗感病反應：抗病(R)=DI<10%；中等抗病(MR)=DI 為 10-20%；中等感病(MS)=DI 為 20-40%；及感病(S)=DI>40%。

2.根瘤線蟲(Root-knot nematode)抗病性檢定方法(4, 19)

請參考番茄根瘤線蟲抗病性檢定方法的人工接種根瘤線蟲卵法測之。

綜合以上所述，吾人可知蔬菜作物抗病育種的成功，需要育種人員與植病人員互相密切合作地完成下列八項工作： 1)廣泛地收集國內外的種原或品種； 2)標準抗病檢定技術的建立； 3)病原生理小種或變異的探討； 4)寄主抗病遺傳性的瞭解； 5)抗病種原的鑑定； 6)重要園藝性狀遺傳性的瞭解； 7)正確育種目標的建立；以及 8)正確育種方法的執行。否則的話，容易造成事倍功半，甚至於一事無成。

參考文獻

1.王添成 1996 茄科蔬菜之抗病育種 Pages 46-89. in ：健康清潔植物培育研習會 中華民國植物病理學會主編 台北 台灣

2.王添成 1996 番茄黑黴病菌培養特性及寄主抗病性 博士論文 國立中興大學植物病理學研究所 台中 台灣 178 pp

3.吳文希 1992 植物病理學 茂昌圖書有限公司 台北 台灣 405 pp

4.陳正次 1988 生果番茄遺傳改良 Pages 121-144 in ：蔬菜品種改良研討會專刊 陳榮五及李善忱主編 台東區農改場 台東 台灣

5.Agrios, G.N. 1978. Plant Pathology (2nd ed.) Academic Press. NY.

6.AVRDC. 1992. AVRDC 1991 Progress Report. The Asian Vegetable Research and Development Center. Shanhua, Tainan, Taiwan, R.O.C. 411 pp.

7.AVRDC. 1993. AVRDC 1992 Progress Report. The Asian Vegetable Research and Development Center. Shanhua, Tainan, Taiwan, R.O.C. 523 pp.

8.AVRDC. 1994. AVRDC 1993 Progress Report. The Asian Vegetable Research and Development Center. Shanhua, Tainan, Taiwan. R.O.C. 537 pp.

9.AVRDC. 1995. AVRDC 1994 Progress Report. The Asian Vegetable Research and Development Center. Shanhua, Tainan, Taiwan. R.O.C. 520 pp.

10.AVRDC. 1996. AVRDC 1995 Progress Report. The Asian Vegetable Research and Development Center. Shanhua, Tainan, Taiwan. R.O.C. 187 pp.

11.AVRDC. 1998. AVRDC 1997 Progress Report (in press). The Asian Vegetable Research and Development Center. Shanhua, Tainan, Taiwan. R.O.C.

12.Black, L.L., Wang, T.C., Hanson, P.M., and Chen, J.T. 1996. Late blight resistance in four tomato accessions: effectiveness in diverse locations and inheritance of resistance. Paper was presented in the 1996 American Phytopathology Society Meeting. U.S.A. In:Phytopathology 86:11(s):24(Abstr.).

13.Caten, C.E., and Jinks, J.L. 1978. Spontaneous variability of single isolates of Phytophthora infestans I. Cultural variation. Can. J. Bot. 46:329-348.

14.Horsfall, I.G., and Barratt, R.W. 1945. An improved grading system for measuring plant diseases. Phytopathology 35:655 (Abstr.).

15.Kenaga, C.B. 1986. Principle of Phytopathology (2nd ed.). Waveland Press. Inc., Illinosis, U.S.A. p. 285-300.

16.Perkin, D.D. 1962. Preservation of Neurospora stock cultures with anhydrous silica gel. Canadian Journal of Microbiology 8:591-594.

17.Shanner, G., and Finney, R.E. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. Phytopathology 67:1051-1056.

18.Sherf, A.F., and MacNab, A.A. 1986. Vegetable Diseases and Their Control. John Wiley & Sons. NY. U.S.A. 728 pp.

19.Taylor, A.L. and Sasser, J.N. 1978. Biology, Identification and Control of Root-knot Nematode (Meloidogyne spp.). Dept. Plant Pathology, N. C. State University, and USAID. 111 pp.

20.Winstead, N.N., and Kelman, A. 1952. Inoculation techniques for evaluating resistance to *Pseudomonas solanacearum*. Phytopathology 42:628-634.

數量遺傳在蔬菜育種上之應用

張龍生

國立台灣大學

傳統孟德爾遺傳法則所控制的性狀在本質上乃屬於質的遺傳，此質量性狀很容易將其歸入明顯的外表型的組群 (categories)；通常這種外表型乃由一極少數基因所控制，沒有或幾乎沒環境的修飾作用而導致成的。相對地許多重要園藝性狀的表現型，並不能將其分成各個類別分明的組群，它是一連續狀況的分佈，即是將所有的外表型組合混成連續變異的狀況。這些性狀如株高、葉面積大小、球重、果實大小、生產量、果實的糖度、單位面積的產量等等。這些性狀的分佈均為連續的變異而形成的質量與數量性狀差異的主要原因，除了控制表現型性狀的基因數目不同外，另外的主要不同在於環境對此性狀基因的影響程度。通常數量遺傳的性狀受多基因的控制，每一基因在此表現型均有某一程度的貢獻。但個別的基因效應卻無法由孟德爾法則去偵測分辨，除此之外，數量性狀基因的表現深受環境的影響，環境作用亦是此表現型構成的組成份，相對地環境組成份大，則遺傳組成分則相對縮小。故對數量遺傳學家言，如何決定族群表現型的變異分別受環境與遺傳組成份的影響，乃是工作上一挑戰。為了完成此工作通常使用較複雜的數量統計學的分析。

遺 傳 力 的 概 念

基因的表現受到環境的影響，我們對不同個體其某些性狀的變異可能來自遺傳因素有所認知，相對地其它的特性的差異可能是因環境變異所造成。根據變方分析的原理；一個變異來源的相對重要性可以用彼此所佔的成份比例來決定。所以我們須要一個數值表示方法來形容對某一性狀其受遺傳與環境的影響，亦即估算遺傳與環境對此性狀表現影響的相對重要性，以提供育種工作者認知某性狀因素與環境與遺傳因素間，彼此的相對重要性，此即遺傳力 (heritability)。遺傳力即代表著後裔與親本間性狀表現相似程度，抑或以基因型的變方與表現型的變方的比值來表示，亦即個體外表受基因影響的程度。故所謂遺傳力即數量性狀之變異性可傳遞於後裔的程度。

遺傳力又可分為廣義遺傳力與狹義遺傳力，而廣義遺傳力(broad sense heritabibity: proportion of variability which is due to heredity, the remainder due to environmental effect)，即是除去基於一切環境因素差異之變方後僅為遺傳的變方所佔的比例。狹義遺傳力(narrow sense heritability: the proportion of observed variability due to the additive effect of genes.)，加性的遺傳變方對全體變方之比稱之。故兩個公式可知廣義的遺傳力大於或等於狹義的遺傳力。

因加性遺傳變異可由世代傳遞，而顯性遺傳會因為基因的分離，故無法有效地傳遞於子代。加性遺傳的變方對自交作物更為重要，因為其自交的結果，演化上顯性異質的機會少相對加性作用更形主要。

育種族群內眾多不同外表型的選拔，其選拔效率受限於遺傳與非遺傳質的彼此間相對影響的程度。某一性狀的遺傳力的大小影響該性狀的選拔方式或育種系統的採用。例如高遺傳力的性狀可利用單株選拔方式選拔優良後裔的單株；而育種方法可採用回交育種法迅速轉移此優良性狀；但性狀的遺傳力低，若採用上述的選拔方式或育種策略其效果可能不好。

遺 傳 力 的 估 算

1.變方分析法(Partition of variance)：生物統計的變方分析可將總變方。一個合理的試驗設計，應該可以求得遺傳的均方及其各個組成份的份量，環境的變方與 G*E 交感作用的估值；若能組合成一遍佈各地和歷經好幾年份的廣大遺傳試驗，則可達成估計正確的各個組成份。依線性模式，任何一測值可用：$Y_{ij} = \mu + G_i + E_j + G_i * E_j$ 來描述。但遺傳性狀的觀察通常並非一個季節即可以完成，需經年累月或在不同的地點的觀察，才能提供一個較為確實性狀的表現。

2.利用純系雜交後裔的遺傳力估算

genotype	aa	mid-point	Aa	AA
value	-da		ha	da

故同一環境下，Aa 與 aa 的差異為 2da，中間值為 da + (-da) = 0，當 A 與 a 之間無顯性的關係，為加性因子作用時 h = 0，∴ Aa 為中間值，故為零。

F_2 族群基因型為 1/4AA + 1/2Aa + 1/4aa，故 F_2 的平均值

$1/4da + 1/2ha + (-1/4)da = 1/2ha$

故則 σ^2_{F2} 為各個體離均差的平方和(遺傳的變方)

$\sigma^2_{F2} = 1/2\ ha^2 + 1/4ha^2$

$\therefore \sigma^2_{F2} = 1/2D + 1/4H$.......(1)

∴ F_2 的總變方為遺傳加上環境的變方

$\therefore\ \sigma^2_{PF2} = 1/2D + 1/4H + E$

$\therefore H = \sigma^2_{F2}\ /\ (\sigma^2_{F2} + E)$

若以 F_1(Aa)與 AA 回交為 BC_1，F_1 與 aa 回交為 BC_2，回交的結果，一半為同型結合的個體，另外一半則為異質結合個體。

BC_1 的遺傳變方為

$\sigma^2_{BC1} = 1/4\ (da - ha)^2$

$\sigma^2_{BC2} = 1/4\ (da + ha)^2$

同樣各因子如 Bb, Cc, Dd, ...與 P_1, P_2 回交亦同

$\therefore \sigma^2_{BC1} + \sigma^2_{BC2} = 1/2D + 1/2H$......(2)

∴ BC_1 與 BC_2 的總變方為 $\sigma^2_{PBC1} + \sigma^2_{PBC2} = 1/2D + 1/2H + 2E$

若(1)*2 - b

$2\sigma^2_{PF2} - (\sigma^2_{PBC1} + \sigma^2_{PBC2}) = 1/2\ D$

由此去除了環境的變異，與非加性因子的作用的遺傳變方 H ，則僅只餘加性因子作用的遺傳變方，

故 $h^2 = (\sigma^2_{PF2} - (\sigma^2_{PBC1} + \sigma^2_{PBC2})) / \sigma^2_{PF2}$

3.親本—後裔迴歸法 (Parent-offspring regression)

親子的相似性的估值可利用迴歸方法得到某性狀遺傳力的估值。

$b = Cov(X,Y)/\Sigma X^2 = \Sigma XY/\Sigma X^2 = CovF_3{*}F_2/\sigma^2 F_2$

由上式親子迴歸分析中所求者應為廣義遺傳力，但若親本雜交後裔隨著選拔世代增加，則顯性作用逐漸變小，而趨近於狹義遺傳力，而在非自交作物在沒有控制授粉狀況下，則只知母本，故迴歸係數的 2 倍即是遺傳力。

親子的相關係數 r_{po} 亦可以反應親子的相似程度，且相關係數介於 0~1 之間，且沒有單位這與遺傳力的定義相符合。

4.現實遺傳力的估算 (Realized heritability)

現實遺傳力（ realized heritability ）乃根據實際選拔的差異與選擇效應比值獲取遺傳力的估值。所測取現實遺傳力的估值代表選擇差異有多大的機會在下一世代可實現的選拔效應。就某個數量性狀（如產量）為常態分佈的族群，選擇某個選擇限值（ X_0 ）以上的個體（或系統），所選拔的個體數對總數的比值稱選拔強度(selection intensity)；族群的平均值與所選拔個體所得到的平均值（ M'），兩平均值間的差異稱選拔差數(selection differential)；所選拔的個體其後裔性狀表現有≧ X_0（臨界值），後裔個體某性狀即高於臨界值的出現率稱為 Q；經過選拔個體的後裔所形成新的族群有一平均值(M")； M"與原族群平均值的差異乃因選拔所獲取稱選拔效應（ genetic advance, ΔG ）

Δ（ M"-M ）/(M'-M)= ΔG / i

兩者的比值稱現實遺傳力（ realized heritability ）。ΔG 一般從 F_2 和 F_3 之間，F_3 和 F_4 之間，雜交組合中當代和下一代之間關係中求得。

若將選拔差數 i 除以族群的標準偏差稱標準化的選擇差(k)

$h^2 = \Delta G / i \qquad k = i/\sigma_p \qquad \therefore i = k\sigma_p$

$\therefore h^2 = \Delta G / k\sigma_p \qquad \therefore \Delta G = k\sigma_p h^2$

而 k 與選擇強度的關係如下表

q（選拔強度）	k（標準化的選拔差數）
50％	0.8
40％	0.97
30％	1.16
25％	1.27
20％	1.40
15％	1.55
10％	1.76
7％	1.92
5％	2.06
3％	2.27
2％	2.42
1％	2.67

現實遺傳力因選拔過程中選拔方向和各世代環境條件不同以及天擇對人為選拔的干擾，現實遺傳力的估值與上述方法所獲得的遺傳力估值間可能有某個程度的變異，它通常直接可用來比較選拔後裔與原族群所得到選拔效應再與上述遺傳力估算中所求得做一比對。

遺 傳 力 的 應 用

1. 可用來預估選拔效應：選拔效應取決於親本世代的遺傳力，若後裔世代若不估算遺傳力，則不能預測其相對應的選拔效應，故選拔效應的預測只對一代的選拔有效，因選拔引起基因頻率的改變，相對地引起遺傳雜異度的變化以及遺傳因子間作用的改變。
2. 可決定選拔的效應：遺傳力代表數量性狀受遺傳或環境影響的大小，故相對地決定了選拔效應的好壞，某性狀較不受環境的影響，下一代再現的機會的可能性很大，故選拔效應好；但若性狀受環境左右，後裔中此性狀再現率小，故選拔效果差，若如此，則不宜對該性狀進行選拔，如此可能因錯誤的選拔，而失去了某些良好基因型，故宜思索如何提高遺傳力，對環境條件掌控，或延遲選拔俟同質結合比率偏高時再行選拔或利用間接選拔方式選取遺傳力高的組成份為宜。
3. 可提高育種系統選擇的參考：外表型與基因型相符則遺傳力幾近於 1 ，故早代直接選拔，利用系譜法或混合選種法即可對雜種後代做處理；若能瞭解狹義遺傳與廣義遺傳力有某個程度以上的差異且環境變異小，此表示存在顯性基因作用，也許適於

供雜種優勢的利用，故宜自交導致顯性作用被逐漸稀釋後再行個體選拔；但若狹義遺傳力近於廣義遺傳力，然環境變異大時，則需增加每系統內的個體數，且宜對系統間進行選拔。

遺 傳 組 合 力

遺傳組合力的測試通常乃為了預測有潛力的自交系供做生產雜種的親本，若非已達同質化程度的自交系，可由肉眼觀察外表性狀的差異。若似乎已無太大的差別，如此即可從事交配得到其後裔；另外一個來源可能是開放授粉的品種 (open-pollinated variety) 或當地的地方品種。開放授粉品種的族群是和許多異質的株系所構成者，故其配子有其遺傳特色；假若採用的是地方品種則交配後裔可以吻合該品系將來地域的適應性；故各有其利弊得失。也可選用一系列背景不同的基因型以製造雜種；若為數量遺傳的性狀基因則可得到其加性的遺傳變方 (additive genetic variance)，加性基因的變異來自兩個組成份，一個是固定的 (fixable)，另外是非固定的(non-fixable)； non-fixable 的變異包含了異質型 (heterozygote)。

當從事後裔試驗，可能有 2~3 重複，故可以得到一系列基因型的後裔各有其平均值，故一般組合力該是所選出的品系與其它系列的基因型雜交其所有後裔所構成族群的平均表現，其中某一個品系與前述所有雜交組合平均表現的離均差即是該品系的一般組合力，故一般組合力乃以某個品系與共同親本的 F1 組合平均值與所有組合平均值的離均差。故根據雙親的一般組合力可以預測一個組合某性狀的預期表現。若該組合的實際表現不會正巧等於預期值，某特定組合的實際表現與其兩親一般組合力的預期值之間的差異就稱為某一定組合兩親的特殊組合力 (specific combining ability, SCA)，某一組合的預期表現可用下列式子代表

$E(X_{AB}) = \mu + G_A + G_B$

$G_A + G_B$ 代表雙親的一般組合力

特殊組合力 $S_{AB} = X_{AB} - E(X_{AB})$

故統計學代表了親本的效應即主效應，而代表兩親的交感作用即是統計學的剩餘的變異，假若試驗有適當的重複則上述式子還須加 E (誤差)。

組合力的估算：

1.頂交試驗：頂交乃利用所選拔的親本和一共同的檢定親 (tester) 相交配，而此共同的檢定親可以是一品種，自交系單交雜種等，由頂交所產生的後裔彼此間是半同袍族 (half-sib families)，將半系同袍後裔全部種植於田間，所有植株對某個性狀的平均表現就是該系統的一般組合力的估值。

2.全互交法測定一般組合力與特殊組合力: 全互交方式是指一系列的品系彼此間進行所有可能的單交方法，複雜但可以同時估算一般與特殊組合力，而且對親本的選定

不須有任何特殊的假設。

全互交：

	A	B	C	D	E	.....	Sum	Mean	G.C.A.
A	a+a	a+b	a+c	a+d	a+e	.....	Y_A	Y_A	〔$(Y_{A.}+Y_{.A})/2N$〕$-Y_{..}/N^2$
B	b+a	b+b	b+c	b+d	b+e	.....	Y_B	Y_B	〔$(Y_{B.}+Y_{.B})/2N$〕$-Y_{..}/N^2$
C	c+a	c+b	c+c	c+d	c+e	.....	Y_C	Y_C	〔$(Y_{C.}+Y_{.C})/2N$〕$-Y_{..}/N^2$
D	d+a	d+b	d+c	d+d	d+e	.....	Y_D	Y_D	〔$(Y_{D.}+Y_{.D})/2N$〕$-Y_{..}/N^2$
E	e+a	e+b	e+c	e+d	e+e	.....	Y_E	Y_E	〔$(Y_{E.}+Y_{.E})/2N$〕$-Y_{..}/N^2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
Sum	$Y_{.A}$	$Y_{.B}$	$Y_{.C}$	$Y_{.D}$	$Y_{.E}$	.....	$\Sigma Y_{ij} = Y_{..}$		
Mean	$\overline{Y}_A$	$\overline{Y}_B$	$\overline{Y}_C$	$\overline{Y}_D$	$\overline{Y}_E$	.....	$\overline{Y}_{..}$		

* N 個 parent

3.除了全互交半互交分析組合力外亦可能用北卡設計 II (North Carolina Design II)，以估算一般組合力與特殊組合力

	A	B	C	D	E	Sum	G.C.A
P	a + p	b + p	c + p	c + p	e + p	$Y_{P.}$	$(Yp./M) - Y_{..}/MN$
Q	a + q	b + q	c + q	d + q	e + q	$Y_{q.}$	$(Yq./M) - Y_{..}/MN$
R	a + r	b + r	c + r	d + r	e + r	$Y_{r.}$	$(Yr./M) - Y_{..}/MN$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
Sum	$Y_{.A}$	$Y_{.B}$	$Y_{.C}$	$Y_{.D}$	$Y_{.E}$		
G.C.A	$(Y_{.A}/N) - Y_{..}/MN$	$(Y_{.B}/N) - Y_{..}/MN$	$(Y_{.C}/N) - Y_{..}/MN$	$(Y_{.D}/N) - Y_{..}/MN$	$(Y_{.E}/N) - Y_{..}/MN$		

組合力估算須注意的事項

1.對各雜交後裔的表現往往是複雜的但組合力估算可提供對此複雜數據的一種經驗概括，而且具有對將來雜交組合性狀表現的預測。此種估算方法不須如變方分析作某些遺傳學的假說；因它利用總和，平均數的統計值的分析，故它是中性，它對族群構成類型並沒有特定的限制，故可以用於自花授粉作物，異花授粉作物，種子繁殖或營養系繁殖作物等遺傳對組合力估算。

2.組合力的估算可預測未來雜交組合的表現，其特性如同親子回歸分析的預測功能；兩者亦不須任何遺傳的假設，而且兩者皆是根據實測數據所得到經驗而做的預測方法，兩者彼此間的相似性大於其外表的差異性。

3.多系雜交或測交方法做組合力測驗，廣泛應用於預測異花授粉作物，其雜交種的族群的表現，經組合力測驗的結果供作親本選擇的依範；同樣地亦可以應用在自交作物成營養系繁殖作物選擇親本的準則。

Genetic Advance under Selection

一般育種計劃有兩個重要層次：

1.針對某一具遺傳雜異度的基本族群內的個體進行選拔（ Selection within a base population of genetic variability.）。

2.利用所選的材料組成下一世代的族群供作下一世代的選拔或演變成一深具潛力的新品種（Utilization of the selection material for the creation of new populations to be employed either as potential new commercial varieties or as the base for a new cycle of selection.）。

若欲改善或增進遺傳性狀的選拔須賴於：

1.族群具備的遺傳雜異度的大小。

2.環境對性狀的掩飾作用的大小及遺傳組成份間各相對變異量的大小。

3.選拔的強度

假設針對某一自交作物的眾多同質系統間進行選拔；這類的試驗可能包括了數個季節與若干個地點的觀察，故試驗當中我們可以計算每一個同質系統的產量 y；我們用頻率分佈圖的表現方式可以得知這個分佈呈現出常態族群的分佈這個分佈是依 σ 與族群平均值為分佈，我們將此分佈轉化為標準常態分佈〔（N, I ~（0, σ^2））〕，假設整個族群共 n 個品系，其中選 g (portion of)，被選拔的品系其產量平均值皆大於族群平均值。其選拔效應可用下式代表：$\triangle G = k\ \sigma_p h^2$。

育種學家如何獲致最大的遺傳的改良，他可從下列方式著手：

1.To seek excellent families (high Y) derived from diverse parents. (High genetic variation).

2.To maximize additive genetic variance by good control of environmental variation.

3.To increase selection intensity

假如△G 比預期的小，亦可用以反推？是否族群內的

⟶ 遺傳雜異度大小

⟶ 如何增大 h^2？parameter 是否具代表性；環境控制良否？

⟶ 選拔的強度可否增加？

欲求良種培育的成效仰賴於 1.遺傳 2.環境 3.前兩項交感作用的大小與兩者間交感存在的本質大小（nature & magnitude），我們已將為介紹了些如何計算遺傳環境或兩者交感作用的變異性；但最重要者乃是遺傳力的估計須要正確；高估與低估都將影響整個育種過程與成效。

参 考 文 獻

1.Allard, R.W. 1960. Principles of Plant Breeding. Wiley, N. Y. and London. pp. 89-108.

2.Finney, D. J. 1958. Plant selection for yield improvement. Euphytica. 7:83-106.

3.Gilbert, N. E. 1958. Diallel cross in plant breeding. Heredity. 12:477-492.

4.Gilbert, N. E. 1967. Additive combining abilities fitted to plant breeding data. Biometrica. 23:45-49.

5.Grieffing, B. 1956. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. Heredity. 10:31-50.

6.Mather, K. and J. L. Jinks. 1982. Biometrical Genetics. 3rd . ed. Chapman and Hill, N. Y. and London. pp. 147-162.

7.Robinson, H. F. , R. E. Comestoch, and P.H. Harvey. 1955. Genetic variances in open pollinated varieties of corn. Genetics. 40:45-60.

8.Simmons, N.W. 1979. Principles of Crop Improvement. Longman, London and N. Y. pp. 88-121.

9.Wright, A. J. 1974. A genetic theory of general varietal ability for diploid crops. Theor. Appl. Genet., 45:163-169.

生物統計在蔬菜育種上之應用

胡凱康

國立台灣大學

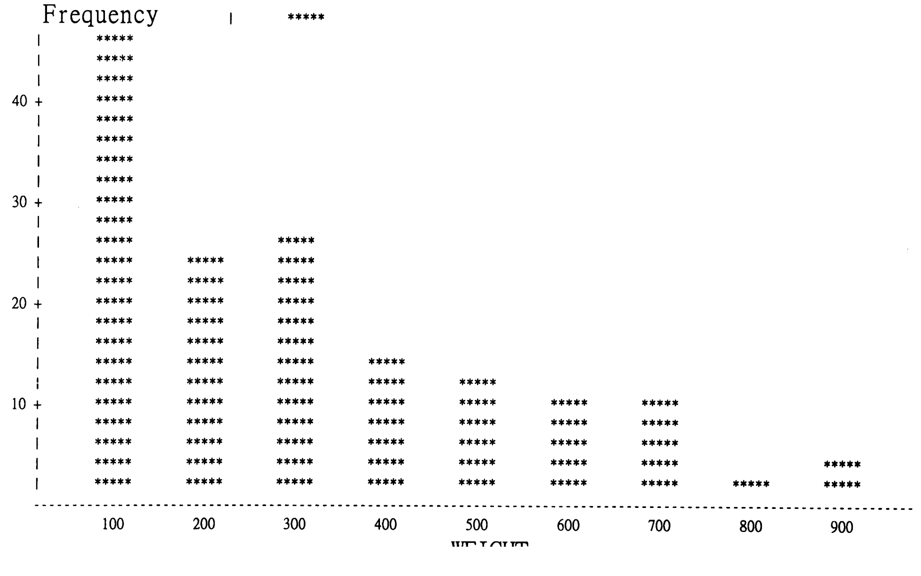
生物的變異性與統計

生物的性狀通常表現出比工業產品高的變異性，這是由於生物有複雜而歧異的遺傳控制，與生長發育過程中對於微小環境差異的反應而產生的偏差。而農業試驗的目的通常在比較不同品種或處理效應的差異，統計就是提供我們如何設計來控制不可預期的環境差異與分析資料時在某種信心水準下獲得結論的方法。我們以下列紅蘿蔔產量的資料來說明生物性狀的變異。

紅蘿蔔重量 (g)

405	109	549	72	32	248	221	234	287	15
388	166	106	257	62	325	673	610	709	494
498	194	499	144	93	203	179	70	717	185
373	380	353	640	509	74	238	149	36	95
529	147	376	662	86	217	380	589	113	496
78	172	318	120	296	1017	197	202	116	129
66	201	292	59	341	606	97	284	915	512
290	87	39	429	643	191	305	258	252	385
216	66	288	670	390	100	579	106	245	426
599	874	597	656	80	175	106	543	340	134
325	55	274	18	71	211	331	254	87	77
749	21	446	88	283	212	31	286	343	91
556	93	132	54	657	223	325	121	436	124
771	505	251	173	258	484	28	813	663	318
393	157	325	87						

上表中之資料可用下列的相對頻度圖表示。下圖顯示出每棵紅蘿蔔重量的分佈，其變異的範圍大約為100—900，而且超過40%的紅蘿蔔其重量在100g左右。

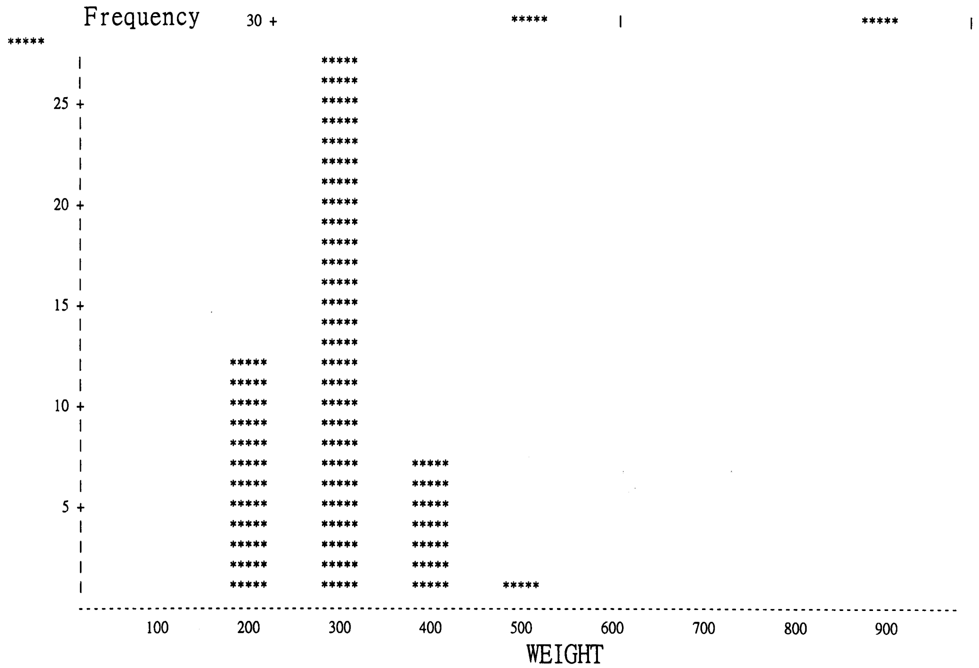


平均＝301.9 標準偏差＝221.3 最大值＝1017 最小值＝15

一般來說，試驗的單位是小區，因此我們想知道每個單位的變異。下表是紅蘿蔔每小區50棵的平均重量 (g)

200.6	377.8	276.3	301.8	291.6	400.2
296.8	207.3	273.4	371.4	228.2	319.5
266.4	263.8	359.9	279.3	318.7	242.3
287.9	261.8	301.1	174.6	228.1	335.3
243.5	308.2	494.9	275.7	303.8	237.4
250.8	276.0	298.8	246.8	266.6	262.4
378.9	306.4	224.9	315.3	237.3	274.9
339.2	236.9	378.9	436.3	346.4	268.6
259.5	291.0				

上表中之資料可用相對頻度圖表示。下圖顯示其變異範圍大致為200—500，而且大約集中在平均值300g附近。



平均值＝292.5 標準偏差＝61.2 最大值＝494.9 最小值＝174.6

樣品與特定值的比較（*t*-test）

假設我們要求每一個小麥的新品種都必須具有每英畝兩噸的產量，某一個新品種在單一試驗時得到2.5噸/英畝的產量，但是單一試驗的結果並不能讓我們對所要回答的問題得到結果，因為產量本身也是一個逢機變數，這一次的結果並不能代表下一次試驗的結果也會比標準的兩噸/英畝高。多做五次試驗，得到2.1, 2.4, 2.0, 2.6 與2.2噸/英畝的結果。以六次試驗的結果求變方的估計值，均方 $s^2=\sum(x-\bar{x})^2/(n-1)=0.056$,因此標準偏差 $s=0.237$，平均值的標準偏差為 $0.237/\sqrt{6}=0.097$，而可得到 $t=(2.3-2)/0.097=3.1$。查表得到 $t_{\alpha=0.05,df=5}=\pm2.57$，因為實測 t 值落於±2.57的範圍之外，因此我們有95%的把握新品種的產量確實比標準值高。

兩樣品間的比較

因為每一季的生長條件不同，在測驗新品種時，我們通常不採用以上的方法，而是以一個標準品種與新品種一起種植，如：

新品種： 2.5 2.1 2.4 2.0 2.6 2.2

標準品種： 2.2 1.9 1.8 2.1 2.1 1.7 2.3 2.0 1.7 2.2

$\bar{x}_1 = 2.3$ ， $s_1^2 = 0.056$ ，

$\bar{x}_2 = 2.0$ ， $s_2^2 = 0.047$ ，

合併的均方為 $s^2 = \dfrac{5(0.056)+9(0.047)}{6+10-2} = 0.050$，

兩樣品差值的標準偏差 $= \sqrt{s^2(\dfrac{1}{n_1}+\dfrac{1}{n_2})} = \sqrt{0.05\times(\dfrac{1}{6}+\dfrac{1}{10})} = 0.1155$,

$t = \dfrac{2.3-2.0}{0.1155} = 2.60$, 查 t 分佈表，自由度為 $n_1+n_2-2=14, t_{\alpha=0.05,df=14} = 2.14$

因此我們有95%的把握，新品種比標準品種的產量高。

簡單的SAS程式及輸出如下：

```
data wheat;
  input var $ yield @@;
  cards;
n 2.5 n 2.1 n 2.4 n 2.0 n 2.6 n 2.2
s 2.2 s 1.9 s 1.8 s 2.1 s 2.1 s 1.7 s 2.3 s 2.0 s 1.7 s 2.2
;
proc ttest data=wheat;
  class var;
  var yield;
run;
```

```
VAR        N     Mean       Std Dev        Std Error     Minimum    Maximum
--------------------------------------------------------------------------
n          6     2.30     0.23664319     0.09660918      2.0000     2.6000
s         10     2.00     0.21602469     0.06831301      1.7000     2.3000

Variances        T       DF     Prob>|T|
-------------------------------------
Unequal      2.5355      9.9     0.0299
Equal        2.5981     14.0     0.0211

For H0: Variances are equal, F' = 1.20    DF = (5,9)    Prob>F' = 0.7634
```

報表顯示這兩個品種有相同之變異（P=0.76），因此我們將兩個均方（0.056及0.047）合併成為共同均方0.050。

兩個處理的完全逢機設計
（Completely Randomized Design, CR Design）

設計的目的在於控制執行試驗的環境所產生的變異，完全逢機試驗設計適用於田區的地力變異為逢機分佈的情況，它的一個特點是各重複的數目並不一定相等，甚至對於已知變異較高的處理，可以採用較多的重複次數來控制其機差。

A 24	B 28	B 31	B 26
A 27	B 23	A 21	B 29
A 22	A 20		

以 *t*-test 的方法計算：

$s_A^2 = 7.7$，$\bar{x}_A = 22.8$，

$s_B^2 = 9.3$，$\bar{x}_B = 27.4$，

$s^2 = (4 \times 7.7 + 4 \times 9.3)/(5 + 5 - 2) = 8.5,$

兩處理間差異的標準偏差為 $\sqrt{8.5 \times \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right)} = 1.84,$

$t = \dfrac{27.4 - 22.8}{1.84} = 2.5$，

$t_{\alpha=0.05, df=8} = 2.31,$ 所以A與B品種間有顯著的差異。

用變方分析法計算：

```
data a;
  input variety $ yield @@;
  cards;
A 24 B 28 B 31 B 26
A 27 B 23 A 21 B 29
A 22 A 20
;
proc anova data=a;
  class variety;
  model yield=variety;
run;
```

```
Analysis of Variance Procedure
Dependent Variable: YIELD

Source          DF      Sum of Squares     Mean Square       F Value      Pr > F
Model            1        52.90000000      52.90000000        6.22       0.0372
Error            8        68.00000000       8.50000000
Corrected Total  9       120.90000000

R-Square                C.V.            Root MSE         YIELD Mean
0.437552              11.61544         2.91547595        25.10000000

Source          DF          Anova SS         Mean Square     F Value      Pr > F
VARIETY          1        52.90000000       52.90000000       6.22        0.0372
```

只有兩個處理時，*t*-test與變方分析的結果是完全一樣的。

多個處理項目的CR設計

品種	A	B	C	D
產量	25.12	40.25	18.30	28.55
	17.25	35.25	22.60	28.05
	26.42	31.98	25.90	33.20
	16.08	36.52	15.05	31.68
	22.15	43.32	11.42	30.32
	15.92	37.10	23.68	27.58
平均	20.49	37.40	19.49	29.90
均方	22.04	15.61	30.91	4.97

首先要回答的問題是「品種之間有沒有差異？」如果有，其次要回答的問題是「哪些品種之間有差異？」

```
data a;
  input variety $ yield @@;
  cards;
A 25.12 B 40.25 C 18.30 D 28.55
A 17.25 B 35.25 C 22.60 D 28.05
A 26.42 B 31.98 C 25.90 D 33.20
A 16.08 B 36.52 C 15.05 D 31.68
A 22.15 B 43.32 C 11.42 D 30.32
A 15.92 B 37.10 C 23.68 D 27.58
;
proc anova data=a;
  class variety;
  model yield=variety;
run;
```

```
Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: YIELD
                                    Sum of           Mean
Source                     DF      Squares          Square     F Value     Pr > F

Model                       3    1291.477146     430.492382      23.42     0.0001
```

```
Error                 20     367.653150     18.382658

Corrected Total       23    1659.130296

                R-Square          C.V.       Root MSE         YIELD Mean

                0.778406      15.98596       4.287500           26.82042


Source                DF      Anova SS    Mean Square    F Value     Pr > F

VARIETY                3   1291.477146     430.492382      23.42     0.0001
```

若想要知道是哪些品種之間有差異，可用的方法很多，其中一種為鄧肯氏多重變域法。修改的SAS程式及其結果如下：

```
proc anova;
  class variety;
  model yield=variety;
  means variety /Duncan;
run;
```

```
Duncan's Multiple Range Test for variable: YIELD

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the
      experimentwise error rate

Alpha= 0.05  df= 20  MSE= 18.38266

Number of Means      2     3     4
Critical Range   5.164 5.420 5.583

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping              Mean      N  VARIETY

                 A          37.403      6  B

                 B          29.897      6  D

                 C          20.490      6  A
                 C
                 C          19.492      6  C
```

其他常用的方法還有LSD和Sheffe的方法。程式的修改與上同，只要將比較方法的keyword填入Duncan的位置即可，其結果分列如下：

```
T tests (LSD) for variable: YIELD

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate not the
      experimentwise error rate.
Alpha= 0.05  df= 20  MSE= 18.38266
```

```
Critical Value of T= 2.09
Least Significant Difference= 5.1636
Means with the same letter are not significantly different.

T Grouping              Mean        N  VARIETY
                  A           37.403      6  B
                  B           29.897      6  D
                  C           20.490      6  A
                  C
                  C           19.492      6  C
```

```
Scheffe's test for variable: YIELD

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate but generally
      has a higher type II error rate than REGWF for all pairwise comparisons

Alpha= 0.05  df= 20  MSE= 18.38266
Critical Value of F= 3.09839
Minimum Significant Difference= 7.547

Means with the same letter are not significantly different.

Scheffe Grouping              Mean        N  VARIETY

            A              37.403      6   B
            A
            A              29.897      6   D

            B              20.490      6   A
            B
            B              19.492      6   C
```

註：

Type I error: reject H_0 | H_0 is true

Type II error: fail to reject H_0 | H_0 is false

逢機完全區集設計
(Randomized Complete Block Design, RCB Design)

當試驗環境的變異有趨勢可循，例如有坡度的試驗田，溫室中微氣象的變異，或在不同時間的接種抗病評估試驗等，都可以視為區集。簡而言之，區集的設立是當區集內的變異小於區集間的變異時，一種控制試驗機差很有效的手段。

I		II		III	
A	B	D	A	C	A
C	D	B	C	B	D

下例為測試七種土壤種類及栽培介質對金魚草莖長的作用，每一個區集中均包含七種土壤的種類，

```
data plants;
  input type $ @;
  do block=1 to 3;
    input stemleng @;
    output;
  end;
  cards;
CLARION 32.7 32.3 31.5
CLINTON 32.1 29.7 29.1
KNOX    35.7 35.9 33.1
O'NWILL 36.0 34.2 31.2
COMPOST 31.8 28.0 29.2
WABASH  38.2 37.8 31.9
WEBSTER 32.5 31.1 29.8
;
proc anova data=plants;
  class type block;
  model stemleng=block type;
run;
```

```
Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: STEMLENG
                                    Sum of          Mean
Source                  DF         Squares        Square   F Value     Pr >F

Model                    8     141.5523810    17.6940476     10.71    0.0002

Error                   12      19.8171429     1.6514286

Corrected Total         20     161.3695238

                  R-Square            C.V.      Root MSE       STEMLENG Mean

                  0.877194        3.946573      1.285079            32.56190


Source                  DF        Anova SS   Mean Square   F Value     Pr > F

BLOCK                    2      38.6895238    19.3447619     11.71     0.0015
TYPE                     6     102.8628571    17.1438095     10.38     0.0004
```

逢機完全區集設計的數學模式為：$y_{ij}=\mu+b_i+t_j+e_{ij}$

其變方分析表中各變因的計算方式如下：

變異來源	s.s.	d.f.	m.s.
區集	$\frac{B_1^2+B_2^2+\cdots+B_b^2}{t}-\frac{[\sum(x)]^2}{t}$	b-1	
處理	$\frac{T_1^2+T_2^2+\cdots T_t^2}{b}-\frac{[\sum(x)]^2}{n}$	t-1	
機差	減後的剩餘	(b-1)(t-1)	s^2
總計	$\sum(x^2)-\frac{[\sum(x)]^2}{n}$	n-1	

可以看出，總計平方和與處理平方和的計算方法是一樣的，只要區集之間有明顯的差異（區集平方和大），機差平方和就會變小，因而達到控制機差的目標。

複因子試驗設計

一般說來，通常一個試驗中都牽涉一個以上的因子，今以兩因子的試驗為例，其設計是採用CR設計，所得的資料其數學模式為 $y_{ijk}=\mu+\tau_i+\beta_j+(\tau\beta)_{ij}+\varepsilon_{ijk}$，是中 $i=1,\ldots,a$ 表示A因子有a個變級，$j=1,\ldots,b$ 表示B因子有b個變級，τ_i，β_j 與 $(\tau\beta)_{ij}$ 分別表示A因子的主效應，B因子的主效應與AB之交感效應。

當兩個主效應都是固定型效應時，複因子試驗的均方期望值如下：

變因	均方期望值
τ_i	$\sigma^2+\frac{bn\sum\tau_i^2}{a-1}$
β_j	$\sigma^2+\frac{an\sum\beta_j^2}{b-1}$
$(\tau\beta)_{ij}$	$\sigma^2+\frac{n\sum\sum(\tau\beta)_{ij}^2}{(a-1)(b-1)}$
ε_{ijk}	σ^2

今以一實例說明兩因子試驗用RCB設計的分析方法。

種子批號	播種量（磅／畝）	區集 I	區集 II	區集 III
T	1.5	4.20	4.94	4.45
	2	4.36	3.50	4.17
	2.5	5.40	4.55	5.75
	3	5.15	4.40	3.90
H	1.5	2.82	3.14	3.80
	2	3.74	4.43	2.92
	2.5	4.82	3.90	4.50
	3	4.57	5.32	4.35

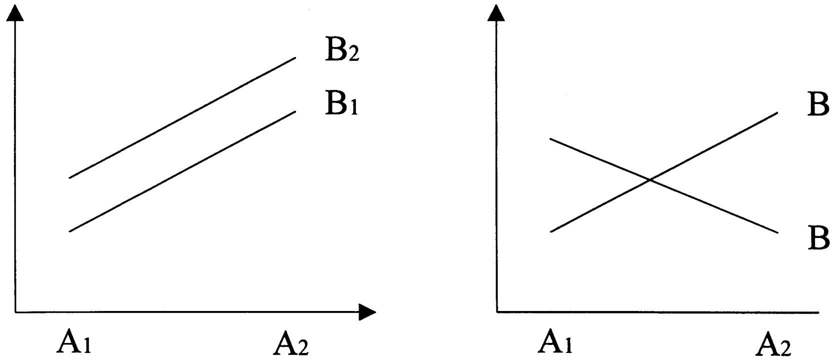
```
data carrot;
  input batch $ @;
  do j=1 to 4;
    input rate @;
    do block=1 to 3;
      input yield @;
      output;
    end;
  end;
  cards;
T   1.5      4.20     4.94     4.45
      2      4.36     3.50     4.17
    2.5      5.40     4.55     5.75
      3      5.15     4.40     3.90
H   1.5      2.82     3.14     3.80
      2      3.74     4.43     2.92
    2.5      4.82     3.90     4.50
      3      4.57     5.32     4.35
;
proc glm;
  class block batch rate;
  model yield=block batch rate batch*rate;
  means rate /LSD;
run;
```

```
Dependent Variable: YIELD
                                  Sum of          Mean
Source               DF          Squares        Square    F Value      Pr > F

Model                 9       8.23490000    0.91498889       2.70      0.0466

Error                14       4.74170000    0.33869286

Corrected Total      23      12.97660000

               R-Square             C.V.      Root MSE             YIELD Mean

               0.634596         13.55002      0.581973               4.295000


Source               DF        Type I SS   Mean Square    F Value      Pr > F

BLOCK                 2       0.09910000    0.04955000       0.15      0.8652
BATCH                 1       1.73881667    1.73881667       5.13      0.0398
RATE                  3       4.41463333    1.47154444       4.34      0.0232
BATCH*RATE            3       1.98235000    0.66078333       1.95      0.1678

         T tests (LSD) for variable: YIELD

         NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate not
               the experimentwise error rate.

                     Alpha= 0.05  df= 14  MSE= 0.338693
```

```
                    Critical Value of T= 2.14
               Least Significant Difference= 0.7207

      Means with the same letter are not significantly different.

           T Grouping            Mean      N  RATE

                    A          4.8200      6  2.5
                    A
                    A          4.6150      6  3

                    B          3.8917      6  1.5
                    B
                    B          3.8533      6  2
```

複因子試驗設計中，最需要注意的問題之一就是交感項檢定後對於主效應的解釋問題。簡單來說，當交感項顯著時，試驗者不可以針對某一主效應的變級間進行比較而不談另一個主效應。

左圖中顯示的是沒有交感的情況，這時可以單獨比較主效應中變級的優



劣，例如在變級間達到顯著差異時，試驗者可以說B_2品種比B_1品種的產量高，或A_2環境的生產力較A_1為高。右圖顯示兩個主效應之間有交感的存在，此時試驗者無法只說哪一個品種的產量較高，而必須指明在A_2環境中，B_1品種的產量比B_2品種高。

雖然在品系比較試驗中的主效應都是固定型效應，但複因子試驗中，也有些時候主效應都是逢機型效應或是兩者都有的混合型模式。分析時，固定型、逢機型與混合型模式之間最大的不同在於各變因的檢定項不同。

變因	逢機型均方期望值	混合型均方期望值
τ_i	$\sigma^2+n\sigma^2_{\tau\beta}+bn\sigma^2_\tau$	$\sigma^2+n\sigma^2_{\tau\beta}+\frac{bn\sum\tau_i^2}{a-1}$
β_j	$\sigma^2+n\sigma^2_{\tau\beta}+an\sigma^2_\beta$	$\sigma^2+an\sigma^2_\beta$
$(\tau\beta)_{ij}$	$\sigma^2+n\sigma^2_{\tau\beta}$	$\sigma^2+n\sigma^2_{\tau\beta}$
ε_{ijk}	σ^2	σ^2

複因子試驗設計與單因子的試驗設計來比較，除了可以得到單因子試驗中無法觀測的交感效應之外，另一個優點是它有隱藏重複，試驗的效率較單因子試驗高。

要注意的是，在本節中所舉的數例只是為了舉例方便，其實就該例而言，所列的分析方法並不是最恰當的。在上例中，種子批號是屬於「質」的因子，但播種量的各變級是屬於「量」的因子。以上的分析方法忽略了播種量的變級間有漸進的程度上的差異，而把它們當作完全無關的變級來處理。要觀測「量」的因子各變級的效應，可將該因子及其有關的交感效應作單自由度的劃分，以檢定該因子的一次、二次及三次曲線的效應。

裂區設計

裂區設計是複因子試驗設計的一種變形，通常用於當其中一因子的施用較為困難時，例如有多個品系參加的灌溉或肥料試驗，因為灌溉或肥料的施用很容易影響到鄰近的小區，因此將相同處理的小區集合起來形成一個大區，例如在下圖中的試驗包含四個重複，每重複有三個大區，每個大區則有六個小區，x, y, z分別為大區的三個處理，A, B, C, D, E, F則分別為小區的六個處理。

	I			II	III	IV
x	A	B	D			
	F	E	C			
y	C	E	F			
	B	D	A			
z	C	D	B			
	F	A	E			

裂區設計的數學模式為

$$y_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + (\rho\alpha)_{ij} + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

當主區與副區（裂區）都是固定型效應時，裂區試驗的均方期望值如下：

		變因	均方期望值
主區	重複	ρ_i	$\sigma_\varepsilon^2 + bc\sigma_\rho^2$
	主效應	α_j	$\sigma_\varepsilon^2 + c\sigma_\delta^2 + \frac{ac\sum\alpha_j^2}{b-1}$
	機差	$(\rho\alpha)_{ij}$	$\sigma_\varepsilon^2 + c\sigma_\delta^2$
副區	主效應	β_k	$\sigma_\varepsilon^2 + \frac{ab\sum\beta_k^2}{c-1}$
	交感	$(\alpha\beta)_{jk}$	$\sigma_\varepsilon^2 + \frac{a\sum\sum(\alpha\beta)_{jk}^2}{(b-1)(c-1)}$
	機差	ε_{ijk}	σ_ε^2

下例為種在框架內的六個萵苣品種對三個不同綠化日期的反應，

綠化日期	品種	I	II	III	IV
x	A	11.8	7.5	9.7	6.4
	B	8.3	8.4	11.8	8.5
	C	9.2	10.6	11.4	7.2
	D	15.6	10.8	10.3	14.7
	E	16.2	11.2	14.0	11.5
	F	9.9	10.8	4.8	9.8
y	A	9.7	8.8	12.5	9.4
	B	5.4	12.9	11.2	7.8
	C	12.1	15.7	7.6	9.4
	D	13.2	11.3	11.0	10.7
	E	16.5	11.1	10.8	8.5
	F	12.5	14.3	15.9	7.5
z	A	7.0	9.1	7.1	6.3
	B	5.7	8.4	6.1	8.8
	C	3.3	6.9	1.0	2.6
	D	12.6	15.4	14.2	11.3
	E	12.6	12.3	14.4	14.1
	F	10.2	11.6	10.4	12.2

```
data lettuce;
  input date $ @;
  do j=1 to 6;
    input var $ @;
    do block=1 to 4;
      input yield @;
      output;
    end;
  end;
  cards;
x    A    11.8    7.5    9.7    6.4
     B     8.3    8.4   11.8    8.5
     C     9.2   10.6   11.4    7.2
     D    15.6   10.8   10.3   14.7
     E    16.2   11.2   14.0   11.5
     F     9.9   10.8    4.8    9.8
y    A     9.7    8.8   12.5    9.4
     B     5.4   12.9   11.2    7.8
     C    12.1   15.7    7.6    9.4
     D    13.2   11.3   11.0   10.7
     E    16.5   11.1   10.8    8.5
     F    12.5   14.3   15.9    7.5
z    A     7.0    9.1    7.1    6.3
     B     5.7    8.4    6.1    8.8
     C     3.3    6.9    1.0    2.6
     D    12.6   15.4   14.2   11.3
     E    12.6   12.3   14.4   14.1
     F    10.2   11.6   10.4   12.2
;
proc glm;
  class block date var;
  model yield=block date block*date var date*var;
  test h=date e=block*date;
run;
```

注意在model的陳述中，block*var與block*date*var都沒有出現，因此這兩項在計算的過程中會被合併起來，並作為全部試驗因子的檢定項。針對主區的效應，必須另以test陳述指定所要用的檢定項。

```
General Linear Models Procedure

Dependent Variable: YIELD
                                       Sum of              Mean
Source                  DF            Squares            Square     F Value        Pr > F

Model                   26        535.1183333        20.5814744        4.08        0.0001

Error                   45        227.2766667         5.0505926

Corrected Total         71        762.3950000

                  R-Square               C.V.          Root MSE             YIELD Mean

                  0.701891           21.87204          2.247352               10.27500

Source                  DF          Type I SS       Mean Square     F Value        Pr > F

BLOCK                    3         29.3427778         9.7809259        1.94        0.1372
DATE                     2         38.0033333        19.0016667        3.76        0.0308
BLOCK*DATE               6         43.5655556         7.2609259        1.44        0.2216
VAR                      5        260.5083333        52.1016667       10.32        0.0001
DATE*VAR                10        163.6983333        16.3698333        3.24        0.0032


Tests of Hypotheses using the Type III MS for BLOCK*DATE as an error term

Source                  DF        Type III SS       Mean Square     F Value        Pr > F

DATE                     2        38.00333333       19.00166667        2.62        0.1524
```

將上列報表整理為常見的格式如下：

變異來源	自由度	均方	F值
區集	3	9.78	
綠化日期（主區）	2	19.00	2.62$^{n.s.}$
主區機差	6	7.26	
品種（副區）	5	52.10	10.32**
綠化日期×品種	10	16.37	3.24**
副區機差	45	5.05	

以上的結果顯示副區的機差比主區的小，這是可預期的結果，因為同一個主區中的各副區的反應較為近似。我們可以說，一般的複因子試驗中對所有的處理組合都有一致的準確度，相對而言，裂區設計犧牲了一部份主區間比較的準確度，但提高了副區間比較的準確度，因此在試驗條件許可下，通常建議將比較重要的因子作為副區。

變積分析

有些時候即使我們盡量控制試驗中的變異性，仍然在小區間出現有相當程度的變異，若這些變異是可以測量的連續性變異，可用變積分析來加以校正，達到控制機差的目的。

在下例中，試驗者想要知道蘋果園中不同覆蓋作物對蘋果產量的影響。處理共有六種（A至F），試驗分為四個區集，y為連續四年的蘋果產量（以英磅計算）。第一部份的分析依照一般單一因子RCB設計。

區集	I		II		III		IV	
處理	x	y	x	y	x	y	x	y
A	8.2	287	9.4	290	7.7	254	8.5	307
B	8.2	271	6.0	209	9.1	243	10.1	348
C	6.8	234	7.0	210	9.7	286	9.9	371
D	5.7	189	5.5	205	10.2	312	10.3	375
E	6.1	210	7.0	276	8.7	279	8.1	344
F	7.6	222	10.1	301	9.0	238	10.5	357

```
data fruit;
  input treat $ @;
  do block=1 to 4;
    input x y @;
    output;
  end;
  cards;
A  8.2  287  9.4  290  7.7  254  8.5  307
B  8.2  271  6.0  209  9.1  243 10.1  348
C  6.8  234  7.0  210  9.7  286  9.9  371
D  5.7  189  5.5  205 10.2  312 10.3  375
E  6.1  210  7.0  276  8.7  279  8.1  344
F  7.6  222 10.1  301  9.0  238 10.5  357
;
proc glm;
  class block treat;
  model y=block treat;
run;
```

```
General Linear Models Procedure
Dependent Variable: Y
                                    Sum of          Mean
Source                 DF          Squares         Square    F Value      Pr >F
Model                   8      48602.33333     6075.29167       3.89     0.0113

Error                  15      23432.16667     1562.14444

Corrected Total        23      72034.50000

                 R-Square             C.V.       Root MSE                 Y Mean

                 0.674709         14.33326       39.52397               275.7500
```

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOCK	3	47852.83333	15950.94444	10.21	0.0006
TREAT	5	749.50000	149.90000	0.10	0.9915

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOCK	3	47852.83333	15950.94444	10.21	0.0006
TREAT	5	749.50000	149.90000	0.10	0.9915

結果顯示出比處理均方（149.9）高出十倍以上的機差均方（1562.1）。檢討的結果發現同一區集內的各株果樹之間本來就有很大的變異，為了校正這個因素，便採用四年前的產量記錄（單位為bushel，約36公升）進行變積分析。當時果園中並沒有施加任何額外的處理，因此這個變數，x，代表的是各株本身的生產潛能。

```
proc glm;
  class block treat;
  model y=block treat x;
  lsmeans treat /pdiff;
run;
```

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr >F
Model	9	68149.29602	7572.14400	27.29	0.0001
Error	14	3885.20398	277.51457		
Corrected Total	23	72034.50000			

R-Square	C.V.	Root MSE	Y Mean
0.946065	6.041258	16.65877	275.7500

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOCK	3	47852.83333	15950.94444	57.48	0.0001
TREAT	5	749.50000	149.90000	0.54	0.7430
X	1	19546.96269	19546.96269	70.44	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOCK	3	13258.06114	4419.35371	15.92	0.0001
TREAT	5	4352.89155	870.57831	3.14	0.0417
X	1	19546.96269	19546.96269	70.44	0.0001

這個時候，我們要看的是Type III平方和，因為Type III平方和為主效應經過校正後的結果，$SS(\tau \mid \mu, \beta, \gamma)$，其中第二項為重複的效應，第三項為連續校正項的效應。經過變積分析（第二部份的程式與分析結果），處理之間是有顯著的差異，並且試驗機差也有了相當好的控制。最後我們若想知道哪些處理間有差異，可用LSMEAN指令要求計算出已經校正後的平均值，並以PDIFF選項要求列出各處理間配對比較時的P值。

Least Squares Means

TREAT	Y LSMEAN	Pr > |T| H0: LSMEAN(i)=LSMEAN(j) i/j	1	2	3	4	5	6
A	280.476530	1	.	0.2575	0.5950	0.9566	0.1169	0.0307
B	266.566627	2	0.2575	.	0.5346	0.2398	0.0134	0.2327
C	274.066627	3	0.5950	0.5346	.	0.5608	0.0442	0.0838
D	281.137036	4	0.9566	0.2398	0.5608		0.1181	0.0338
E	300.917469	5	0.1169	0.0134	0.0442	0.1181	.	0.0022
F	251.335712	6	0.0307	0.2327	0.0838	0.0338	0.0022	.

NOTE: To ensure overall protection level, only probabilities associated with pre-planned comparisons should be used.

參考文獻

Freund, R. J., Littell, R. C. and Spector, P. C. 1986 SAS system for linear models. SAS Institute Inc. Cary, NC.

Mead, R., Curnow, R. N. and Hasted, A. M. 1993 Statistical methods in agricultural and experimental biology. (2nd Ed.) Chapman & Hall. London.

Montgomery, D. C. 1991 Design and analysis of experiments. (3rd Ed.) John Wiley and Sons. New York.

SAS Institute Inc. SAS/Stat User's guide, Release 6.03 Edition. Cary, NC:SAS Institute Inc., 1988. 1028 pp.

生物技術在蔬菜育種上之應用

劉邦基、張有明、許華欣
台灣省農業試驗所

前　言

一般言之，植物的生物技術包括組織培養、基因選殖、基因轉殖、遺傳標誌分析等四大項目。

組織培養可應用於大量繁殖、去病毒化、種原保存，並可與相關技術互相配合用以改良品種。基因之選殖與轉殖技術可克服傳統育種所無法克服的血緣障礙問題，以改良作物品種；應用遺傳標誌則可協助品種或品系之鑑別、了解作物血緣及演化關係、製作基因圖、提高選拔效率，並可協助達成基因選殖之目的。本講義主要就組織培養、基因轉殖和遺傳標誌及其在蔬菜育種之應用作一基本介紹。

組織培養在蔬菜育種上的應用

植物組織培養(tissue culture)意指將植物的器官、組織、或細胞等，在無菌狀態及適當環境下，使其重新形成完整植株。植物組織培養在蔬菜育種上的應用包括 1.以胚培養克服遠緣雜種胚的早衰； 2.以微體繁殖保存優良種質及搶救珍貴品種，或大量生產優良種苗； 3.以花藥培養培育優良品種及純系親本，加速育種進程； 4.種源保存； 5.以瓶苗方式進行種原交換； 6.以生長點培養法培育無毒種苗； 7.配合基因轉移以培育轉基因植株等。據不完全統計，至今組織培養已應用於四十餘種蔬菜上，且其應用日益廣泛。

組織培養包含一系列步驟，欲瞭解其技術之基本內涵，可從下列數個要項入手。

一、培植體

用於組織培養的植物材料稱培植體（explant），可大略分為具備組織化結構（organized structure）及未具組織化結構（unorganized structure）兩大類，前者包括胚、胚軸、子葉、生長點、莖頂、莖、花藥、根或葉之片段等等，後者包括癒傷組織、懸浮細胞、原生質體、花粉等等。培植體種類之選擇依試驗目的、方法及植物種類等各項因素而定。

二、培植體之消毒

培植體係以富含養分之無菌培養基培養，故需經表面消毒以防培養期間滋生真菌和細菌。消毒方法有多種，常用者為次氯酸鹽及酒精消毒法，此兩者不但經濟有效且對植物及人員之毒性較低。

次氯酸鹽可為次氯酸鈉或次氯酸鈣，尤以前者較普遍使用，市售之漂白液（例如 Clorox Bleach ）因以此為主要成分，常作為組織培養之消毒劑使用。使用時，其最終濃度可自 0.25 %至 2 %（ w/v ）不等，視植物與培植體之種類和消毒方式（例如處理時間）而定。

酒精（乙醇）之使用亦極為普遍，但一般是與其他藥劑配合，單獨使用時較不易達到完全消毒之效果。酒精除了可殺菌，尚可去除培植體外表之臘質。酒精之處理時間亦因材料及方法而異，一般言之，柔軟材料以 30~60 秒為宜，用以消毒種子則可達 1~2 分鐘。處理酒精後應隨即以無菌水沖洗 2~3 次。

其他之消毒劑尚有甲醇、異丙醇、殺真菌之藥劑、抗生素等。欲進行新作物之組織培養時，宜參考前人報告，參照相同或類似工作所用的方法，而且最好依其方式實施預備試驗，必要時修改其細節以找尋最理想的方式。

三、組織培養之操作環境

組織培養之多種操作應在無菌操作台上進行，包括將培植體置於培養基上，以開始培養工作，以及往後之繼代、更換培養基等，使其過程免於微生物（包括孢子）之感染。無菌操作台可置於實驗室之適當角落，但以置於清潔狀況良好之專門房間為最理想。

四、培養基

植物材料在試管中需有適當之培養基始能生存，進而生長發育。培養基含有主要元素與微量元素等礦物成分，其含量和比例關係著培養成敗。已建立之培養基配方種類甚多，其中最常用者首推ＭＳ配方，許多工作者在開始時係以此配方為基礎，建立其培養系統。除了ＭＳ配方，其他多種配方亦可使用，以應各種不同需要。培養基還需含有供作植物能源之含碳有機物（通常為蔗糖），有時尚加入維生素或胺基酸等。此外，植物生長調節劑（ plant growth regulators ）之使用亦是植物組織培養技術的重要部分。工作者對於植物生長劑之掌握與調整是否適當，常是成敗關鍵。有關植物生長劑之基本概念請參考本節最後一段。培養基可為固態（即膠體狀態）或液態，視培養之材料與目的而定。

五、培養環境

植物材料在培養期間，大部份需要光線，通常係採用人工光照。人工光照易於控制光度、溫度及光週，有助於掌握其材料之生長速率和品質。使用 100~1000lux 之光度對許多植物初期的莖葉生長有益，但後期則常予增強（可高達 3000lux ）以利於移出試管後對環境之適應。有時組織培養需在無光或弱光環境下進行（例如癒傷組織之培養），需視各種因素加以考量，以作調整。若使用光照，在光週之控制上常採用 12~16 小時光期，或依特定需要調整。

培養室之溫度亦甚重要，詳言之，溫度之適當與否與植物種類有關，例如溫帶作物以日溫 21~25 ℃及夜溫 18~21 ℃為宜，有些甚至喜愛更低之溫度；熱帶作物之培養一般則宜提高溫度，以 30 ℃左右為宜；然而，培養室內若同時培養多種不同植物，無法兼顧個別需要時，則常將溫度調整為 25 ℃。溫控之敏感度以± 1-2 ℃為宜。

一般培養室常以日光燈或植物燈作為光源。此種照明設施，其附於每一燈具之變壓器為極易發熱之部份，會影響室內溫度，增加溫控系統之負擔，若能將每一燈具之變壓器移置室外，則可改善此一缺點，並可節約能源。

六、植物生長調節劑

植物生長調劑(plant growth regular)為天然存在或人工合成之有機化合物，它們在極低濃度下可以影響甚至改變植物的發育與生長。天然存在於植物體內之生長調節劑又稱為植物荷爾蒙(phytohormone)。一般生長調節劑在極低濃度之範圍內，其濃度的變化亦會影響對植物的作用效果與方式。生長調節劑對植物發育之影響包括細胞之生長、分裂、器官之形成、種子發芽、休眠之促進與打破、向光性與向地性、成熟、老化等等。

表 1.　一般常見與常用之植物生長調節劑

1.生長素類(Auxins)：	
Indole-3-acetic acid (IAA)	p-Chlorophenoxyacetic acid (CPA)
Indole-3-butyric acid (IBA)	2,4-Dichlorophenoxyacetic acid
Indole-3-propioic acid (IPA)	(2,4-D)
a-Naphthaleneacetic acid (NAA)	2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid
2,3,5-Triiodobenzoic acid (TIBA)	(2,4,5-T)
Phenylacetic acid (PAA)	t -Cinnamic acid
	Picloram
2.激勃素類(Gibberellins)：	
Gibberellic acids (GAs)，共數十種，以編號方式命名，最常用者為 GA_3	
3.開寧素類(Cytokinins)：	
Adenine	6-(γ-γ-dimethylallylamino)
Adenine hemisulfate	purine (2ip)
6-Benzylaminopurine (BA)	Kinetin
Diphenylurea	Zeatin
4.離層酸：	
Abscisic acid (ABA)	
5.乙烯：	
Ethylene	
2-Chloroethylphosphonic acid (Ethephon)	
6.其他：	
2-Chloroethyl-trimethyl ammonium chloride (CCC, Cycocel)	
Succinic acid-2,2-dimethyl-hydrazide (SADH, B9, Alar)	
Polyamines (PAs)	

植物生長調節劑可分為 1.生長素（ auxins ）、 2.激勃素（ gibberellins ，GAs ）、 3.開寧素(cytokinins，又稱細胞分裂素)、 4.離層酸(abscisic acid ， ABA)、5.乙烯(ethylene)等五大類，其中第 1~3 類皆各包含許多不同的化合物。此外，依其對植物的影響方式又可區分為促進劑(promoter)和抑制劑(inhibitor)兩大類，前者包括生長素、激勃素和開寧素，後者包括離層酸和乙烯以及多種人工合成之化合物。表 1 所列者為常見的植物生長調節劑。

完整的培養基可認為是由一套營養成分與一套生長調節劑所形成的組合。常用培養基之營養成分含量與比例較為固定，因而易於掌握；生長調節劑則富於變化而難以掌握。通常在一系列的培養過程中，可將營養成分配方固定，而生長調節劑則需隨材料種類、培養階段以及試驗目的加以調整或改變，始能達成組織培養之目的。其原因除了不同發育階段常需由不同調節劑引導而外，培植體之內生荷爾蒙含量亦為一重要變因，試驗者對此一變因通常無法知曉，因此難以確定外加生長調節劑所需之成分與劑量。

遺傳標誌及其在蔬菜育種之應用

一、遺傳標誌的種類

生物學上，同一性狀在不同個體間的變異性與多樣化稱為多型性(polymorphism)，例如同一種作物所呈現的不同花色、不同的抗病性、不同的外形等皆屬之。凡可作為辨認或推測生物遺傳特色之多型性現象稱為遺傳標誌（ genetic markers ）。遺傳標誌可大略分為形態標誌(morphological markers)、生化標誌(biochemical martkers)、分子標誌(molecular markers)等三大類。形態標誌為可直接從外形上辨識之多型性現象，例如株高、花色、茸毛之有無等差異性即是；生化標為經由化學反應結果所呈現之多型性，例如同功酶圖譜、 ELISA 、 HPLP 分析結果之差異性等；分子標誌則為核酸層次上所呈現的多型性現象，例如核酸電泳條帶的差異、 PCR 分析產物、核酸序列的異同等皆屬之。上述三種標誌中，以分子標誌的種類最多，數量亦最為豐富。近年來分子標誌進步甚為快速，應用亦最為廣泛。

分子標誌又可因是否結合 PCR 技術，而分為 non-PCR based markers 和 PCR based markers 兩大類（有關 PCR 請參閱本講義第四節），前者包括 RFLP 、 SSR 、minisatellite 等；後者包括 RAPD 、 AFLP 等。

遺傳標誌分析時，若能從條帶上區分同質體(homozygote)與異質體(heterozygote)，稱為共顯性標誌 (co-domonant marker)；否則稱為顯性標誌(dominant marker)。

以下介紹幾種主要的遺傳標誌：

1.同功酶(isozyme)

同功酶是同一種酵素的不同形式，它們具有不同的分子量、電荷、

甚或其他差異性，但可進行相同的催化反應。同功酶的多型性現象可藉電泳方法顯示出來，是一種有用的生化標誌，且為共顯性標誌。探討同功酶標誌所需設備並不複雜，而且技術亦不難，可惜在分析方法上已開發之種類極為有限，形成應用上的局限性，如今其應用已不如分子標誌普遍。

2.RFLP

RFLP 是生物核酸的『限制酶切割片段之長度多形性』（ restriction fragment length polymorphism ）的簡稱，它是一種直接在核酸層面上測得的遺傳變異，其分析不需使用 PCR 技術，是一種 non-PCR based 的分子標誌。由於生物核酸被限制酶（ restriction enzyme ）完全分解後，會形成無數特稱為『限制酶切割片段』（ restriction fragments ）的核酸碎片，而相同的染色體部位所產生的限制段在不同的染色體組或生物個體之間可因核酸序列的變異而造成長度上的差異，因而可供辨認，且具有共顯性現象，此即 RFLP 現象。

RFLP 分析須仰仗多項基因工程技術始得實施。首先須藉重組 DNA 以及基因選殖技術以建立生物的基因庫（ gene library ）；基因庫可為基因組庫（ genomic library ）或互補核酸庫（ cDNA library ）。接著再從基因庫中篩選所需的核酸探針（ probe ），利用南方氏轉漬法（ Southern blotting ）去偵測生物基因組核酸的變異性。偵測時，須先利用特定的核酸限制酶去分解生物的基因組核酸（ genomic DNA ），以產生各種不同的切割片段，再用電泳方法使各片段因長度不同而分開來，以便於轉漬並與適當的探針結合。探針之目的是用來偵測某一生物的基因組中和它相同或十分近似的核酸序列之兩近側是否有序列上的變異。一般而言，凡能偵測到生物基因組中的單套序列或單套基因的探針最有利於結果的判讀，因此是最理想的探針。核酸探針須經標示（例如以放射性元素或非放射性方法標示）以利偵測。進行南方氏分析時，如果帶有探針序列的生物染色體部位在酶解後產生不同長度的片段，則經過一系列的實驗程序作業後便會顯現不同的條帶樣式，形成可供辨認的遺傳標誌。此種長度多形性意謂著：在生物個體或族群中，其基因組的某一位置存在著核酸序列的差異。其差異可能肇因於染色體片段之倒立（ inversion ）、插入（ insertion ）、缺失（ deletion ）、或氮基對替換（ base pair substitution ）等。

與其他多種分子標誌比較， RFLP 除了具有許多共通的優點(例如標誌數量極豐富、具有高靈敏性、其偵測結果不受發育階段影響等），還具有分析結果極為穩定以及共顯性效果(co-dominant)之優點。然而其分析步驟極為繁複費時，非一般實驗室可輕易實施，則為一大缺點。 RFLP 分析技術自 1980 年首度開發以來，在 1980 年代期間成為最重要的分子標誌，其應用頗為廣泛，但進入 1990 年代後，即逐漸為其他分子標誌所取代。

3. RAPD

RAPD 是『逢機增幅多型性核酸』(Randomly Amplified Polymorphism DNA)的英文簡稱，它是一種應用『聚合酵素聯鎖反應』(Polymerase Chain Reaction, PCR)方法所延伸發展，以偵測生物遺變異性的技術。 RAPD 分析所根據的基本原理的方法，其實與一般 PCR 分析並無二致，不同的是 RAPD 只用隨意設計的單一引子進行增幅反應，因此不需瞭解增幅區的核酸序列；此外， RAPD 分析所用的引子通常比較短，常用者為 10 mers 。一般言之，以 10-mer 之逢機引子進行 RAPD 分析，在一般常用之 PCR 反應程式上皆可產生增幅條帶，少則 1~2 條，多則可達十餘條。

RAPD 標誌之分析方法較為簡單易行，且靈敏度極高，為其優點，但不具共顯性現象，且穩定性較低，則為其缺點。

4. VNTR

VNTR 是『不同數目連續重複序列』(Variable Number of Tandem Repeats)之英文簡稱。高等生物的基因組中常有連續重複的簡單序列存在，其重單位列長度為 2~8 個鹼基對者，稱為 SSR(Simple sequence repeat)或 microsatellites ；而長度為約 16~100 個鹼基對者，稱為 minisatellite 。由於重複次數的不同，當以適當之探針進行分析時可顯示多型性(參閱 RFLP 之條帶偵測方法)。

VNTR 標誌分析亦可與 PCR 結合，以緊鄰重複單元兩側之非重複序列為引子，進行增幅，再以電泳觀察其條帶。其所增幅之條帶通常較 RAPD 單純，而且可能具有共顯性效果。

5. AFLP

AFLP 是『增幅片段長度多型性』（ Amplified Fragment Length Polymorphism ）的英文簡稱。 AFLP 融合 RFLP 和 PCR 之特點，其分析較 RFLP 簡單，分析效果則較 RAPD 穩定。 AFLP 分析時，首先須將試驗材料的基因組核酸（ genomic DNA ）用兩種限制酶切割。所用之兩種限制酶中，一種為稀有切位者（其辨認之序列較為稀少），另一種則為普通者（其辨認之序列在核酸中較為常見）。切割後之片段則加入小段之核酸片刻，並以聯結酶接合。此種外加之小段核酸，稱為 adaptor ，其序列為已知者，故可作為 PCR 引子之設計依據。其 PCR 引子除了使用上述 adaptor 及限制酶之序列外，在 3’端尚特地增加 1~3 個額外鹼基對，此增加之鹼基對的核苷酸種類係隨意選擇者，目的是要減少 PCR 反應之煉合機率從而減少增幅條帶數目；所增加之鹼基對越多（但以不超過 3 個為宜），反應後之電泳條帶數目越少。進行 AFLP 分析時，其 PCR 產物是以 PAGE（參閱本講義第五節）分離，其膠體與核酸定序所用者相同。為使泳後之條帶易於觀察，一般使用放射標記或螢光標記之引子，再配合 X-ray 底片顯影。有些公司已設計出全自動之硬體設施，以降低工作者所負擔之繁複手續。

AFLP 分析效果穩定且重複性甚高；此外，同一份分析結果常可顯示數個或更多的多型性標誌，因此分析效率可大幅提高。若使用膠體掃描器（gel scanner）以判斷條帶訊號之強弱，還可將同質體（homozygote）和異質體（heterozygote）之條帶加以區分，而使 AFLP 具有共顯性（co-dominant）特色；否則本標誌因無法區分同質體與異質體之條帶，而與 RAPD 同被歸為顯性標誌（dominant marker）。

基因轉移

基因轉移(gene transfer)又稱為基因轉殖，意指將外來基因送入植物細胞，使該外來基因整合到植物基因組且能正常表現，由此所獲得之植物稱為轉基因植物(transgenic plant)。基因轉移可針對特殊性狀進行改良，不致影響其他遺傳特性，而且不受植物血緣之限制。已知植物的基因轉移方法不下十餘種，包括農桿菌媒介法、電穿孔法、 PEG 化學處理法、微注射法、基因鎗法、花粉管途徑法、電泳法、脂球體法、浸泡培養法等，各種方法皆有其優缺點，其應用之普遍程度亦不一，以下介紹幾種主要之轉移技術。

一、農桿菌媒介法（Agrobacterium mediated method）

本法係藉由農桿腫瘤菌(*Agrobacterium tumefaciens*)或農桿根群菌（*A. rhizogenes*）利用其所攜帶之 Ti 或 Ri 質體以達到基因轉移之目的。 Ti 或 Ri 質體為發現於該菌中之質體，含有一段特稱為 T-DNA（transferrd DNA）之部分，基因轉移即是利用 T-DNA 之特性而達成的。當農桿菌感植物時，受到植物傷口分泌的酚化物之誘導，活化 Ti 質體的 vir region ，所產生的酵素可以幫助 T-DNA 由細菌細胞內轉移到植物細胞，並且併入植物染色體中，與植物的基因一起表現出來。以 Ti 質體轉移基因具有穩定之效果，為其顯著之優點；可惜農桿菌只感染雙子葉植物，在單子葉植物之基因轉殖上較不易應用。如今，已有多種經過巧妙改造的 Ti 質體可供基因轉移之需。目前經由農桿菌媒介法而獲得轉基因植物之報告已甚為豐富，成功的例子至少包括番茄、菸草、甜椒、馬鈴薯、木瓜和柑桔等。

二、基因鎗法（biolistic process）

本法係利用一種稱為 particle gun（粒子槍）的裝置，將帶有外來基因的重組質體射入植物細胞，以達到基因轉移效果。 Particle gun 又稱為 gene gun（基因槍），是一九八四年由康乃爾大學的 San-ford 教授首先發展成功的。其基本原理是將質體 DNA 溶於緩衝液中，以液膜方式包被在極細微的金屬粒子外面，再利用基因槍將金屬微粒加速到每秒 300 公尺以上，而射入植物細胞中，把 DNA 一併帶入，藉以發生基因轉移。此設施及方法經由杜邦公司繼續發展而達到商品化階段，一般又稱為高速微導彈法（high-velocity microprojectile）、顆粒轟炸法(particle bombardment process)或生物彈道顆粒法（Biolistic bioparticle delivery system）。其中 biolistic 係由 biological ballistic（意即生物彈道的）兩字合併而成的新字。本

法須用高密度之金屬作為微細粒子之材料，以增加射入效果。初期採用鎂元素之微細粒子以達到此目的；但由於過多的鎂射入細胞會產生毒害而影響其存活和再生能力，遂改用金或鎢為材料。本法之使用頗稱簡便，適用範圍亦廣。就植物種類而言，可適合於雙子葉植物和單子葉植物，對植物部位之選擇亦不嚴苛，舉凡癒傷組織、子葉、胚、胚軸、葉圓片（leaf disks）、原生質體和懸浮培養之細胞等皆可使用，甚至可用於葉綠體和酵母菌之基因轉移試驗，亦可用於真菌、細菌、昆蟲的胚和動物組織。至今為止，本法在植物上至少已用於菸草、小麥、大豆、洋蔥、玉米、木瓜、和水稻等多種作物之遺傳工程研究，許多研究顯示本法具有理想的基因轉移效果。

三、電穿孔法（electroporation）

本法利用瞬間電襲，使細胞膜產生暫時性孔洞，而使重組質體併入原生質體內。其效果受到細胞濃度、緩衝液、電壓、脈衝時間、和原生質體之狀況等諸多因素之影響。在水稻、胡蘿蔔、菸草、和玉米等作物已有初步之結果；然而，一般而言，本法之轉移效率極低而且不穩定。

四、微注射法（microinjection）

本法係利特殊的微注射針管將重組質體注入細胞內。所試驗之植物細胞需先經酵素處理以成為原生質體。此方法似以施用於受精卵較具應用價值，尤以動物試驗較具可行性。施用於植物則效果並不理想，而且轉殖細胞之再生情況通常不佳，故不易獲得轉基因植株。

五、花粉管路徑法（pollen tube pathway）

此方法原為中國大陸學者所構思者，在大陸使用較為普遍。本技術是將受精後之柱頭切斷，再將重組質體滴在切口上，使其由花粉管進入，最後併入受精卵中而發生基因轉移。本法是以受精卵為材料，不須克服再生（regeneration）之難關，因此無需使用組織培養技術，而且對於某些植物，例如由一朵花之受粉可獲得眾多種子者（例如番茄、木瓜），可提高試驗效率，因此頗具吸引力，本法目前在國內亦頗受重視。

主要之基本技術與工具

生物技術為一種應用性的科技，使用到許多不同學門的理論與技術，其設施亦較為複雜。因此，生物技術工作者需學習多種基本知識與技術，以應工作需要。以下介紹幾項初學者需先熟悉之技術與工具。

一、植物 DNA 之萃取

萃取植物 DNA 之方法有許多種，其繁簡及優劣不一，但各種方法皆可大體分為以下四個主要步驟：

1.細胞的碎裂。一般使用研磨方式，植物組織(通常為葉片)在研磨前，一般是

以液態氮急速冷凍，以利於將組織研磨成微細之碎片（每一碎片以不超過30 個細胞為最理想），使細胞壁破裂而易於釋出其內容物。此一研磨程序越迅速越佳，以使材料處在低溫狀態中，降低DNA 產生質變的機會。也可先將植物組織進行冷凍乾燥，再以磨粉機磨成粉狀，以-20 ℃或-4 ℃貯存，或者萃取時再行磨粉亦可。

2.DNA 與蛋白質的分離。當細胞壁破裂後，則加入適當之溶解液（ lysis buffer ），溶解液中含有可破壞細胞膜和核膜之藥劑，通常為 1%左右之 SDS（ sodium dodecyl sulfate ）、 sarkosyl 、 CTAB （ cetyltrimethyl ammonium bromide ）等高純度之清潔劑。清潔劑亦有助於 DNA 與蛋白質以及多糖類之分離，此步驟對於降低污染及提高 DNA 純度極為重要。為了使清潔劑迅速發生作用，本步驟在執行時需適度搖晃以加速混合，但切忌過度搖晃，以免造成 DNA 分子大量斷裂，影響其品質。此外，溶解液需具極佳之酸鹼緩衝能力，通常以 pH 7.4~8.0 之酸鹼值最有利於 DNA 分子之隱定。

3.蛋白質及其他雜質之去除。經過清潔劑處理後，許多萃取方法係以酚洗法（ phenol wash ）除去蛋白質及多種雜質(包括核酸分解)。完整的酚洗程序包括三個步驟，首先加入酚（其量與樣品體積相等），充分混合後，再行離心並留取上層液（含 DNA ），再以酚和三氯甲烷（ chloroform ，含 4%之 isoamyl alcohol ）之 1:1 混合液處理（其量亦與樣品體積相等），經混合、離心、留取上層液（含 DAN ），最後再以三氯甲烷（成份同前，體積亦與樣品等量）處理，留取上層液。此時大部份的雜質皆已去除。也有人在此階段採用 Proteinase K 蛋白酶加強蛋白質之分解。亦有以氯化銫（ CsCl ）梯度法進行純化者，此法雖具極佳純化效果，但較為昂貴、費時，且需使用超高速離心機。

4.DNA 的進一步純化。經過上述三大步驟後，通常以乙醇或異丙醇（ isopropanol ）將 DNA 沈澱，有時並加入醋酸銨以加強效果；此步驟亦且有去除鹽類之效。沈澱後之 DNA 經離心並適度乾燥後（切忌過度乾燥）便可溶於適量之 TE 溶液（含 10 mM Tris Cl ， 1 mM EDTA ， pH 7.4~8.0 ）或純水中備用。

二、酵素之使用

1.限制酶（ restriction enzyme ）

限制酶又稱為核酸內切酵（ endonuclease ），此類酵素存在於細菌中，是細菌用以保護其自身免被噬菌體（ phage ）侵害的武器，不同細菌含有不同的限制酶作為其防禦工具。當噬菌體入侵細菌後，細菌內之限制酶可將噬菌體核酸切成片段以免除其危害。其原理是每一種限制酶可辨認一種特殊的核酸序列（稱為切位序位），從而將其螺旋狀之雙股切斷；而細菌自身所含有之相同切位序列則具有特殊保護（通常在適當位置行甲基化以為保護措

施），以免被自身所特有的限制酶所切斷，因此僅有侵入之外來核酸可被破壞而達到自我保護之目的。

限制酶可分為 type I 和 type II 兩大類，前者可與外來核酸分子長鍊之某一特殊位置結合，而將結合處以外之位置將核酸分子切斷；後者則與特殊位置（序列）結合並將該處切斷。其切割方式有兩種，一種是將兩股之同一位置切斷，形成平整之切口，另一種方式則是在兩股之不同位置切斷形成不平整之切口。 type II 限制酶經常使用於生物技術究上，以作為核酸切割之工具。

2.連結酶（ ligase ）

為具有連結 DNA 片段功能之酵素，它可在核苷酸間形成 phosphodiester bond（需有 5’-phosphate 和 3’-hydroxyl groups 存在）。生物技術試驗常使用 T4 ligase（為 T4 噬菌體所控制而產生者）來連結不同來源之 DNA 片段，形成重組核酸。限制酶與連結酶之開發與應用為基因工程技術發展之重要基礎。

三、電泳（ electrophoresis ）

電泳為分離蛋白質或核酸分子的方法，是生物技術必備的基本技術。電泳之基本原理是將供試材料（即所萃取之蛋白質或核酸材料）置於適當膠體中，膠體則置於緩衝液及電場中，如此帶電之分子便會依其電荷移動，經一段時間，不同之分子便分離開來。電泳依膠體之不同可分為澱粉電泳、聚丙醯胺膠電泳(polyacrylamide gel electrophoresis ，簡稱 PAGE)、和瓊脂電泳（ agarose gel electrophoresis ）等三種。第一種用於蛋白質分析，第二種可用於蛋白質和核酸分析，第三種用於核酸分析。膠體之密度可依需要於配製時調整，以控制分子之移動速率及解像力。蛋白質電泳可依不同目的採用特殊染劑加以染色以觀察特定之分子，例如測定全蛋白質時，需於電泳前將材料加熱使其變性，電泳後則以 coomassie blue 染色；不同之同功酶則各有其染劑配方及染色方法。核酸電染則通常使用 ethidium bromide 染色，再在螢光下觀察其條帶。蛋白質和核酸分子之移動與其分子量有關，因此可經由 Rf 值計算或在同一膠片中『分子量標誌』（ molecular weight markers ）以資比較，而得知各條帶中之分子所具之分子量。

四、聚合酶聯鎖反應技術（ polymerase chain reaction ）

簡稱 PCR ，是 1984 年首次發展成功的一項技術，它可以在很短的時間內，將某一段特定的DNA序列進行大量的複製，而使得原先極微量的DNA大量增加，以利於研究。其原理，是利用適當溫度，將核酸的引子（ primer ）與高溫（通常為 94 ℃）解鍊後的單股 DNA 煉合（ annealing ），再利用核酸合成酵素進行引子的延伸作用（通常使用 72 ℃）；最後將延伸後的 DNA 再經高溫解鍊成單股，以便再度進行引子的煉合。如此週而覆始，所合成的 DNA 便以 2^n 的速率急速地增加，由於它能極有效地變少為多，許多實際上的應用馬上應運而生，而成為分子生物學的一項極有用的新技術，有人甚至聲稱 PCR 為生物技術中的一匹黑馬。熟悉此一新技術的內涵已成為每位生物技術研究人員的必修課題。

早期的PCR是使用大腸菌DNA聚合酶來作實驗，由於該酵素對溫度極敏感，在利用高溫進行解鍊時便會失效，故十分不便。直到 1988 年，從溫泉中的細菌 *Thermus aquaticus* （*Taq*）中分離而後亦選殖成功的 Taq DNA 聚合酶問世以來，才使 PCR 技術真正邁向實用的領域。 Taq 聚合酶的分子量約為 94kD ，它可以在 95 ℃的高溫下保持安定性。在 80 ℃時，每個酵素分子可以每秒 150 個核苷酸之速率進行 DNA 的聚合反應；在 37 ℃時，其活性則約降低百倍。由於此酵素在 DNA 聚合反應進行時沒有自我校正的功能，使得合成核酸時發生錯誤的機會大為提高，在 30 循環反應後，其累積錯誤頻率可達 0.25 %，實為一大缺點。近年來，由於分析方法的改進，已使其錯誤的機率大為降低，達到理想狀況。最近其他更理想酵素陸續開發出來，加上各種硬體設計之改進，已使 PCR 技術更臻成熟。 PCR 技術自發展成功至今雖僅十餘年，但其應用價值則已廣受肯定。至今為止，其主要應用範圍包括：考古學、醫學、生物學、犯罪學、與農業等各大領域。在農業上， PCR 可用於植物病毒之診斷、純化有用的基因或 DNA 段落、以及品種品系之鑑定上。

實驗室與、田間之注意事項以及生態方面之安全考量

生物技術之許多試驗工作涉及環境及人員安全，因此工作人員需具備細心的工作習慣，且需有高度的安全意識。

一、實驗室

除了遵守一般實驗室安全守則而外，需注意下列項目：

1.工作人員之安全防護措施：在實驗室工作時需穿實驗衣，舉凡具有潛在危險性之工作項目，皆需格外小心。例如許多工作之執行需戴手套，實驗桌上應敷一層抗污紙墊，並定期或視需要更換，使用紫外燈時應戴防護面具或眼罩，使用具放射性藥物時需有合格之防護設施，並隨時以蓋格計數器檢測是否遭到污染。

2.有毒物質之處理：試驗藥物具有毒性時，除了操作時應注意人員安全外，必要時需依規定在抽氣櫥中操作。對於試驗後之廢棄藥品應予回收保存，以便交由適當人員或公司處理，不可倒入水槽中，以防污染下水道。

3.細菌及試驗材料之處理：凡涉及實驗用細菌之相關器物及植物材料，於實驗結束後皆需連同細菌本身加以適當處理，一般可採用高溫高壓滅菌（常 120 ℃， 30 分鐘），以保証其不具污染能力，然後才可丟棄。

4.放射性物質之處理：若需使用同位素藥品，需嚴格遵守行政院原子能委員會所頒訂之法令。包括工作執行人員事前需接受相關訓練且持有証明，實驗室之設施需符合法令規定，同位素之購入、貯存及其廢棄物之處理亦需接受監督及管制，工作人員還需定期接受健康檢查。

二、溫室與田間試驗

生物技術所進行之基因轉殖可不受血緣限制，而且所轉殖者亦不限於自然界所存在之基因（未來亦可能出現人造基因之轉殖事例），對於可能引發的種種問題，包括對人体健康的影響、生態環境效應、社會倫理的衝擊等等，目前皆乏充分了解，因此學界與一般社會大眾對生物技術所培育出之轉基因植物存在著相當疑慮。為了安全考量，許多國家皆制定相關法規予以監控，我國有關轉基因植物的安全法規亦已在草擬階段。目前國內相關之溫室與田間試驗係由行政院農業委員會負責管理，任何相關之研究，皆需向農委會申請，以依照農委會決議實施。

主 要 參 考 資 料

中國農業科學院主編。 1984 。中國蔬菜栽培學。農業出版社。

朱蓓蓓、林良平。 1989 。新興之細胞電融合技術。科學農業 37(1-2):26-29 。

李寶健、曾慶平。 1990 。植物生物技術原理與方法。湖南科學技術出版社。

吳信淦、連錦昆。 1991 。基因轉殖植物之研究。科學發展月刊 18(5):556-560

吳希天、黃木秋。 1991。電孔處理轉移基因之原理與影響因素。科學農業 39(11-12): 256-264 。

高景輝 1990 。植物生長與分化。台北，茂昌圖書有限公司。

高景輝 1994 。植物荷爾蒙生理。台北，華香園出版社。

張銘堂。 1988 。植物基因移轉。科學農業 36(1-2):1-8 。

廖芳心、黃鵬林。 1996 。應用花粉管轉移甘藍基因注射處理時間之探討。中國園藝 42(3): 289-301 。

Hartmann, H.T., D.E. Kester, and F.T. Davies, Jr. 1990. Plant propagation, principles and practices (5th ed.). Prentice-Hall International. Englewood Cliffs, New Jersey.

Hoelzel, A.R.(ed.), 1992. Molecular genetic analysis of populations, a practical approach. IRL Press, New York.

Rickwood, D. and B.D. Hames (eds.), 1990. Gel electrophoresis of nucleic acids, a practical approach, 2nd ed. IRL Press, New York.

Vasil, I.K. and T.A. Thorpe (eds.), 1994. Plant cell and tissue culture. Kluwer Academic Publishers, Boston.

甘 藍 類 蔬 菜 育 種

沈 再 發

農林廳種苗改良繁殖場

概　　念

甘藍類指屬蕓苔屬（Brassica）內之 *Brassica olracea* 種，其 2n=18 。在台灣主要之種類包括甘藍、球莖甘藍、花椰菜、青花菜、芥藍等。在國外另外有綠葉甘藍（Collard）、抱子甘藍等，其主要栽培種之學名、英名如下：

甘藍類主要栽培種

中 文 名	拉 丁 名	英 名
普通甘藍	B. o. var. *capitata* L. f. *alba* DC.	white cabbage
紅 甘 藍	B. o. var. *capitata* L. f. *rubra* (L.) Thell.	red cabbage
皺葉甘藍	B. o. var. *sabauda* L.	savoy cabbage
花 椰 菜	B. o. var. *botrytis* L. subbar. *cauliflora* DC.	cauliflower
青 花 菜	B. o. var. *botrytis* L. subvar. *cymosa* Lam.	sprouting broccoli
抱子甘藍	B. o. var. *gemmifera* DC.	Brussels sprouts
球莖甘藍	B. o. var. *gongylodes* L.	kohlrabi
芥　　藍	B. o. var. *acephala*	Kale

從育種觀點甘藍類蔬菜除上述種內之染色體 2n=18 外，在栽培上具有下列特點：

一、甘藍類為綠植物春化型（Green plant vernalizatiou type），即植物需要長到一定的大小後，再經一段時間的低溫才有低溫感應性，以形成花芽。

二、屬異交作物，需要靠蟲媒傳播花粉。花比白菜類大，如以人工行蕾期授粉時比白菜類容易。

三、一般具自交弱勢現象，於自交數代後生育明顯呈嚴重弱勢，但系統間仍有差異性。

四、種內幾乎具相同病蟲害。

五、各季節別的收穫期是為選拔或評價的時期。

茲以甘藍為例，育種上之主要過程說如下：

生育階段		主要過程
營養生長	種子	
	｜	
	幼苗	
	｜	
	幼苗期（juvenile phase）	在一般生長條件下作田間試驗
	｜	
	可售產物 ——	選拔
	｜	
	營養生長之維持或繁殖越冬（需一定期間的低溫，以促進花芽形成）	
	｜	
生殖生長	開花 ——	授粉（蜜蜂或人工）
	｜	
	種子之發育	
	｜	
	種子成熟 ——	種子採收

選　　拔

育種工作開始是行品種試作，結束也是行品種試作，從開始到結束的重要工作就是選拔。選拔時由於每一族群之變化有其遺傳上的背景，且在栽培時除了遺傳背景外，加上環境因素上的變化，因此很難能正確的進行此工作。但是，在正常的季節行選拔是最重要的，選擇耐熱的品種就得在夏季栽培，選拔晚抽苔性的品種就得在冬季栽培。例如：6、7、8 月高溫季節的早生花椰菜、甘藍、青花菜，就得需在此成熟時選拔，並將此選拔植物體維持到其開花季節。如果在花開時才行選拔，也就失去耐熱性的意義。其他生態上的特性，除耐熱性、晚抽性外，如耐病性、耐寒性、高溫結球性、低溫結球性、早熟豐收性、耐濕性、耐旱性及貯藏性等，都需依所訂育種目標來行選拔的。對於抗病性之選拔則儘可能於苗期行接種，有關接種方法及其環境應更符合各該病害之特性。

授粉技術

一般自然授粉時，以蜜蜂、大黃蜂和蠅類為媒，但是行人工授粉時，其技術如下：

一、用具：授粉夾、75％酒精、12 × 36 cm硫酸紙袋、標示牌、迴紋針、毛巾、鉛筆、紅白毛線、圓形培養皿、和授粉箱等。

二、授粉：套袋前將已開的花全部摘除，經 3 ～ 4 天後行授粉工作。

1.自交授粉－以毛線繫結分為開花部分和蕾期部分，用授粉夾撥開蕾期花蕾使柱頭凸出，並以當日新鮮花粉，一次行開花和蕾期授粉。

2.雜交授粉－將未開之花蕾剪掉，以所要雜交的花粉授到已開放花的柱頭，授粉後於花瓣枯黃脫落時將硫酸紙袋打開。

3.種屬間雜交授粉－於蕾期將花蕾撥開使柱頭凸出並除去雄蕊後於柱頭上以親本花粉行授粉。

育 種 方 法

一、選種

甘藍類屬異交作物、且具有自交弱勢之現象。因此，在選拔育種上，可用下列數種方法進行，混合選拔法、系統混合選拔法、分群混合選拔法等進行選種工作，可有效育成優良品種。

1.混合選拔法

混合選拔法最適用於改良地方品種，可使原本不適應之品種逐漸適應當地栽培環境，且可使品種性狀逐漸趨於選種目標。其步驟如下：

第一年：將所搜集的本地種，依品種別自各族群中，選出優良之植株，令其自然授粉，待種莢黃熟時混合採收種子。選拔時，株數要多，至少在 50 株以上、愈多愈好，依照育種目標在形質上選出各種形態、特性之植株採種，並混合其種子，以增加遺傳型質。

第二年：依品種別將第一年所採種子播種後，再自其中選出最優良植株為特優母本 20 ～ 30 株；特優母本種植於田區之中央，其餘獲選次優者，則種植於特優母本之四週，種子成熟後採收特優母本者混合其種子，供做次年進一步選拔。

第三、四年：重複第二年之選拔工作至品種性狀穩定為止。(圖 1.)

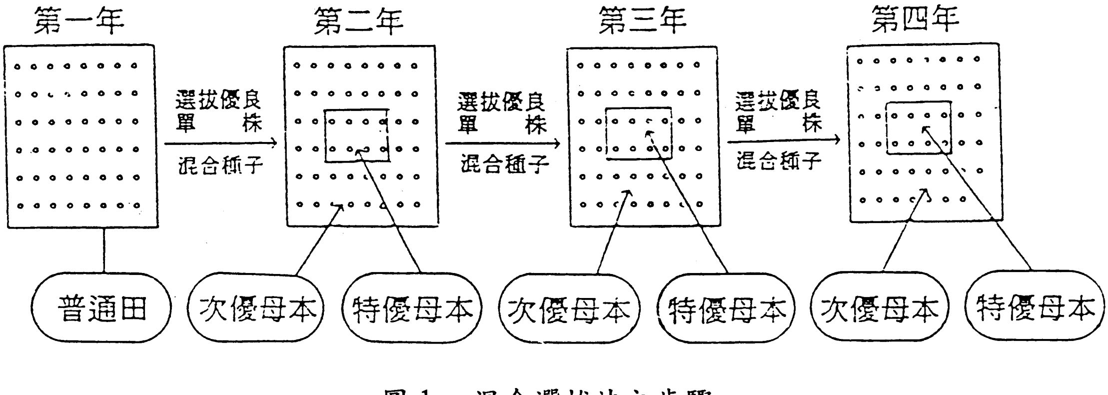


圖 1.　混合選拔法之步驟

本選拔方法可用於維持該品種特性，對於已選拔良好特性的品種，其改良效果不大。

早生類不具自交弱勢的品種如早生花椰菜，可應用近親交配與自然授粉交互混合選種法，其步驟如下：

第一年：於秋冬季在一般栽培田大族群中，選擇合於理想之優良植株 100 株，作為採種母本。

第二年：將上年所選優良母本，每株進行蕾期授粉，並分別採種。於夏秋季時，將各選獲單獨採種之優良母株種子，分別播種，各種植一區。選拔其變異較少，且無自交弱勢者，經自然授粉後混合採種。

第三年：將第二年所選母本，混合採種之各區種子，分裝一袋，夏秋季時再行播種。每袋種子各種植一區，再於變異少之各區中，分別選擇優良母本 20 株分別行蕾期粉留種。

第四年：同第二年，淘汰變異大及具自交弱勢的植株後代，將優良者混合採種。

第五年：同第三年，行自然授粉混合採種·

重複第四、五年用蕾期授粉和自然雜交混合採種方法，交互選拔工作，直至所選理想性狀，完全穩定而極為整齊為止。其程序如圖 2.：

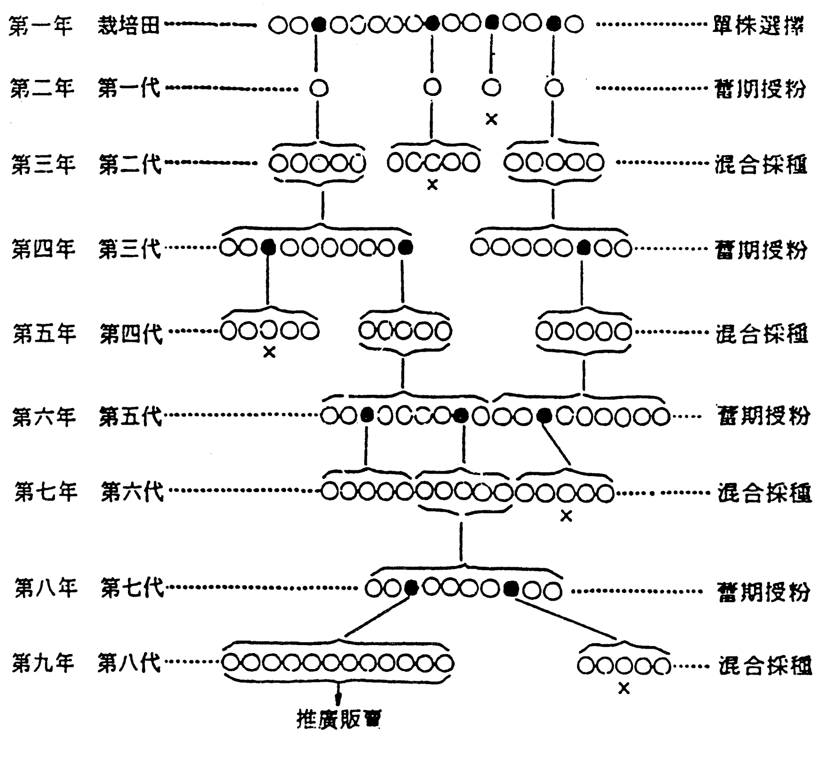


圖 2. 花椰菜、青花菜近親交配與天然雜交交互選拔法

2.系統混合選拔法

在一基本族群中選出多數基因型，根據其性狀之後裔試驗，選出少數基因型，混合而成為一品種，以系統之集團為選拔對象，以所選拔之個體混合而成為一個系統，分別採種，再將系統加以比較及擇優選拔。其步驟為：

第一年：自隔離栽培之本地品種中行優良單株選拔，並單株採種。

第二年：將所選之優良單採或個體，每株種植一行成為一個系統予以栽培比較，將其中不良者淘汰。

第三年：所選之系統繼續以系統栽培與系統選拔。

如此繼續進行選拔 2 ～ 3 代，選出之優良系統，將其種子全部混合，於隔離地區行混合採種。本法應用於數量性狀或特定性狀上之選拔較一般混合選拔效果大。

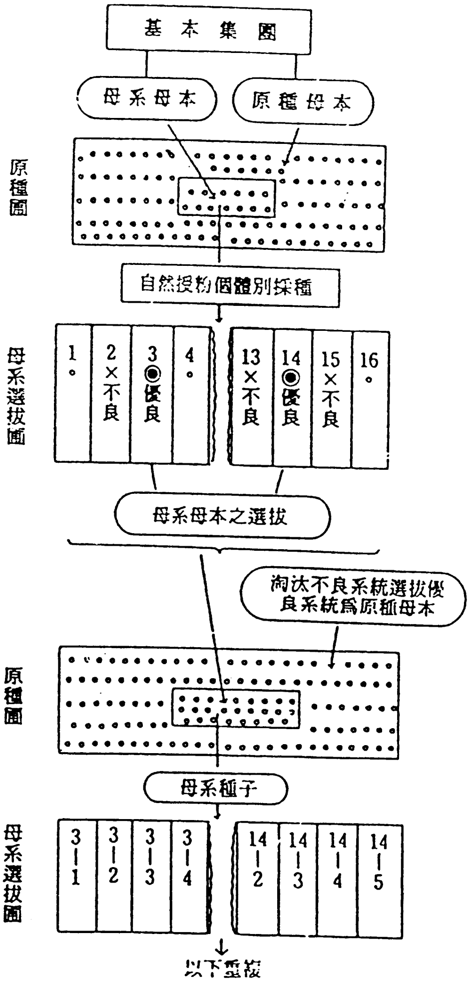


圖 3. 母系混合選拔法之模式圖（篠原，1958）

另為避免上述混合選種法之難達整齊性和系統混合選種法有遺失優良基因之掛慮。同時又能在短期內達到選拔之效果，可利用由篠原(1958)所提出之母系混合選拔法(Maternal line selection)，其方法不以個體之集團為對象，而以系統集團為選拔對象。其步驟為：

第一年：自基本集團中選取合於育種目標的植株 100 株以上為母本，其中選特優母本 20 株，種植於中央，其餘次優者，種植於本田四週，並任其自然授粉雜交。採收種子時，特優母本行單株採種。

第二年：以第一年所採特優母本單株種一行，進行系統栽培並選拔，其中選出 2 ～ 3 個最優系統，並從此 2 ～ 3 系統中，再選出 20 株為優良母本，種植於原種圃中央，並於其周圍種植自其他系統所選之母本，行自然授粉採種。

第三、四年：重複第二年之工作，至品種穩定為止。其模式如圖 3.。

3.分群混合選拔法

本地品種由於含有許多不同的基因型，外型差異甚大，可將性狀相似的植株，選拔混合成為一群，性狀不同而相類似者又成另一群，將這些不同的群隔離採種，然後進行各群之比較試驗，並可繼續選拔優良群。各群中對於目標性狀仍以混合選拔法行之。其步驟為：

本地品種→分群（同群中選拔之單株混合）→群間比較試驗→優良群之選拔及群內混合選拔→優良群之選拔及群內混合選拔→優良群之決定。其模式如圖 4.：

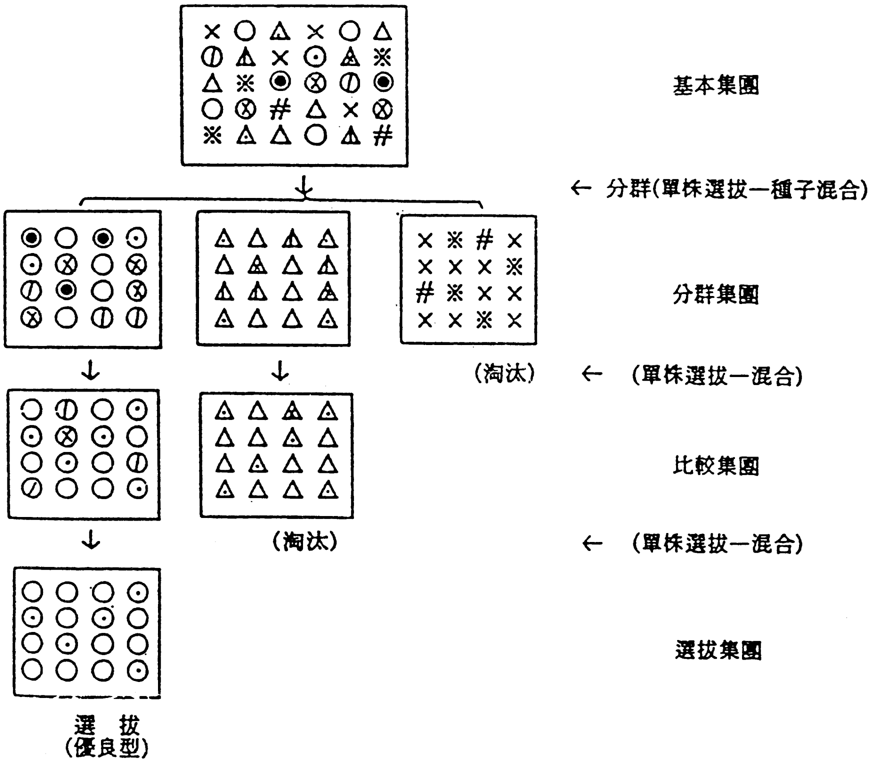


圖 4. 分群混選拔法之模式圖

雜 交 品 種

甘藍類為異花授粉作物，其形質之整齊性很難一致。而由集團選拔之品種，乃個體間具有不同基因型之集團，如栽培地區、栽培時期等之環境發生改變，其遺傳基因作用亦常因此而發生變化，而不能達到整齊性。而在進行繁殖工作時，也常因育種者、或年限之不同而產生品種性狀逐漸變異的情形。利用自交方式，雖可增加遺傳形質之同質結合性，因而提高品種之整齊度，可是自交若干代後，雖然形質上達到固定，其生長勢卻發生衰弱、產生所謂自交弱勢之現象，且同時有自交不親和性而無法採到種子。因此，利用不同自交不親和性系統特性相互交配成一代雜種，不僅性狀整齊性一致，同時增加了雜種優勢。目前本省十字花科蔬菜大都利用自交不親和性，育成一代雜交品種，甘藍類亦不例外。此雜交 F_1 之育種，育種目標確立後，其育種程序，大致為育種材料之收集分離（2～3 世代），系統選拔（1 世代），兩親組合之決定（1 世代），品系遺傳形質之固定（2～4 世代），後裔之檢定及試驗採種（1 世代），以及原原種之繁殖或原種採種。其步驟如下：

一、育種材料之收集及準備工作

廣泛搜集各種種源之材料。並將這些材料依其形態或園藝性狀分類，包括品種的抗病蟲害性等予以記錄。此等收集之種源材料，可利用混合選種法，維持其各族群之特性。

二、親本品種或品系的選拔

1.品種或品系的選擇：

親本之選擇，選取合於育種目標特性的品種或品系，進行各品種或品系間組合力檢定，選擇一般組合力高的品種或品系為親本。此一步驟即在所收集的許多種源中，選拔組合力優良者作為以後育成自交系統用的族群 A 、B 。

2.單株選拔：

在作為親本的單一品種中，選拔優良單株，並與另一親本所選之單株，進行所有可能的雜交組合亦即全互交（ Diallel cross ）。同時也將獲選之每一單株進行自交，然後依據全互交結果選留組合力高之優良親本單株。

三、自交系之育成與選拔

1.自交系育成：

依據親本單株舉行檢定結果，將性狀優良之單株選留，並將此選留單株之自交種子種植成為不同的系統，並在所選留的自交系統內進行兄妹交配（ Sister mating ）以測定其是否具有自交不親和性的 S 基因，以及為同質接合或異質接合系統。利用此方法繼進行 2 ～ 4 世代近交後，測定其是否為 S 基因同質接合之近交系。

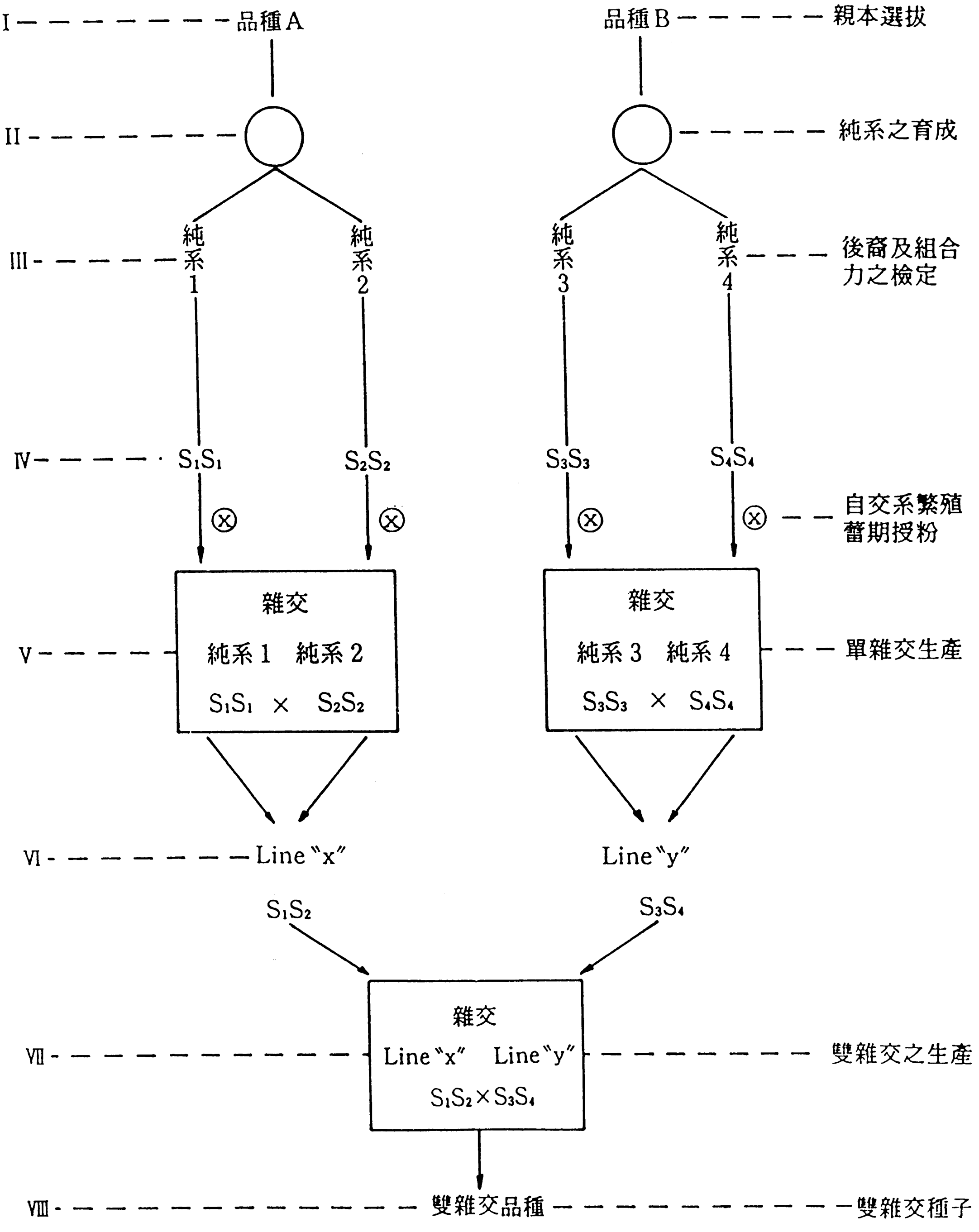


圖 5. 花椰菜、青花菜雙方雜交品種育種程序

2.自（近）交系選拔：

在每代舉行自（近）交的同時，選拔性狀優良的親本單株，由親本族群中A、B而來的單株，進行A和B間的個體間雜交，一面檢定其雜交親和性，並將雜交後代結果予以比較觀察。選出的單株其雜交親和性高，同時其組合力優良者設為自交系。繼續行2～4世代選拔為自交系。

四、自交系種子之生產

一般所育成的自交系，皆選自交不親和性者，利用蕾期授粉方法繁殖之。

五、單雜交種子之生產

生產單雜交種子，一般都是在一隔離地區，將選自 A 、 B 親本族群之二自交系分行交互種植。開花時，由昆蟲行雜交授粉，成熟後所採收之種子，依其整齊度，決定為分別採收或混合採收，此為單雜交種子。

六、三向雜交或雙雜交種子之生產

以三或四對以上不同 S 基因，作為三交或雙雜交之利用。此等基因如為主效基因時得檢定其基因之顯隱性關係。

種內雜交

種內雜交其親和力很強。在雜交育種上的授粉工作很容易，但因雜交後代出現的生態、形態上差異範圍很大，如何選定兩親本雜交出具特性和整齊性的親品種，是靠智慧和選拔技術。在早 Yeager (1943)就有此類種內雜交報告。台灣於農友種苗公司的目錄上也出現有青花菜×花椰菜之品種目錄，而台北市近郊有類似花椰菜×芥藍菜的後代栽培。因此彙整有關之重要雜交後代特徵供參考。

球莖甘藍×青花菜：產生粗大又粗長的圓錐形莖，葉呈青花菜狀，其頂芽形成像青花菜花蕾，但蕾球較小。

球莖甘藍×花椰菜：產生粗大的植體和莖，在莖上長出葉分枝，其頂芽為不完整花蕾有如葉化之花椰菜。

球莖甘藍×芥藍菜：產生粗大莖有如抽長球莖，有長而膨脹的分枝。其葉像芥藍且葉柄較球莖甘藍為短。

花椰菜×青花菜：植株大，其葉較偏像青花菜，其花蕾淡綠色，花球緊密，組織柔軟細緻。其花為淡綠色，介於青花菜與花椰菜之間。

花椰菜×芥藍菜：產生葉較偏於芥藍的葉，並於頂端長有小的蕾球，其出蕾期較原花椰菜早。

青花菜×花椰菜：花球較大而呈綠色，小花蕊較細緻，葉片也偏向花椰菜型。

青花菜×白花芥藍菜：葉偏向芥藍形狀，頂花球出蕾早，其花瓣為白色。如以青花菜為輪迴親行回交，將白花芥藍之耐熱性導入青花菜且可有早生特性。另以青花菜與芥藍（白花或黃花）雜交後裔中，選出不形成花球而側芽數多的後代，以腋芽或花苔為食用，俗稱芥藍花（或高麗菜花）。其株形巨大，高可達 60 ～ 80 公分，腋芽長 20 ～ 30 公分，且可連續採收。

甘藍×芥藍：其後代類似芥藍，植物較短矮，葉片較偏芥藍型態。

其他也可見到抱子甘藍×青花菜，其後代呈抱子甘藍狀，但有些仍可出現小花蕾球。

種屬間雜交

一、意義

一個優良品種需有優良遺傳基因之導入。此遺傳基因在原有之品種系統內選拔時用分離育種法，同一種內數品種選拔時可用雜交育種法。但是一種內的遺傳基因之變異有所限制，欲育成新品種的遺傳基因組合能力也有限。種屬間雜交係自異種導入有用之遺傳基因，為種內雜交所無法得到的形質。此種屬間雜交除二種親本之特性均等的併合一起，以種屬間雜種直接利用外，也可以原作物品種之一或二缺點，利用他種屬所發現具備的有用形質（耐病蟲性等）之基因導入。

二、染色體組人為合成品種

Morinaga 與 U 根據染色體組(Genome)與其相互種間交配後所得雜種，觀察染色體配對之結果，將 Brassica n=8(b)，n=9(c)及 n=10(a)以一元種染色體組（monogenome)來表示。n=17、18 及 19 為複合而成的二元種染色體組(digenome or amphidiploid)，即 bc、ab、ac 所組成（圖 6.)。之後由染色體數

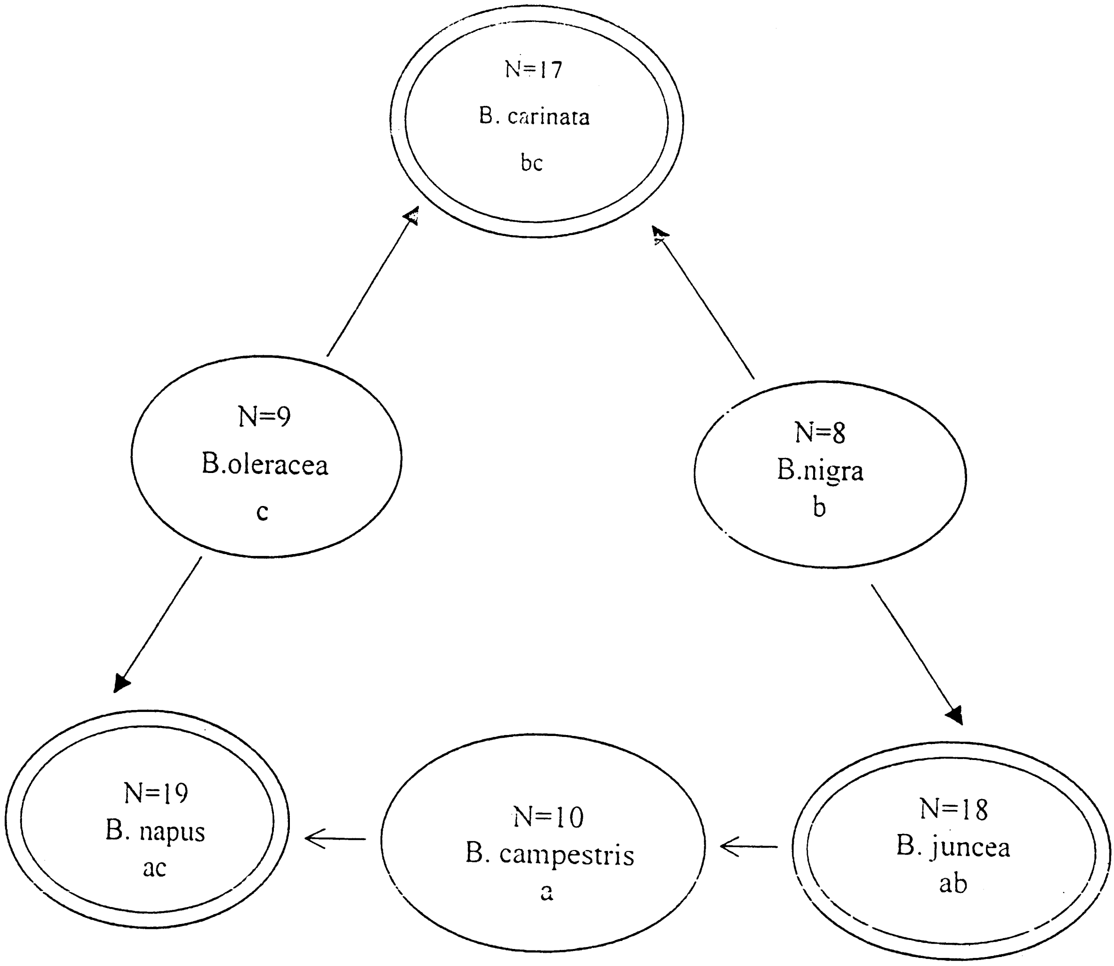


圖 6. 蕓苔屬之 Genome 關係

不同之種間雜交，證明了 Brassica 屬內之異質倍數性之存在。蕓苔屬（Brassica）與蘿蔔屬（Raphanus）兩屬間染色體組中，Brassica 之 a、b、c 和蘿蔔屬之 R 有部分相同的關係，也即可能 R 與 a、b、c 源自同一染色體組進化而來的。

有關人為合成種屬間品種，除種屬間本身具交配親和性，在自然或人為選拔下可形成許多新品種外，另以人為異質倍數體之育成方面，也有許多之報告。

三、種屬間雜交法

與 B.oleracea 有關之種屬間雜交目前以 B.campestris (2n=20) × B.oleracea (2n=18) 合成 B.napus (2n=38)， R.sativus × B.oleracea (2n=18) 合成 Raphanobrassica (2n=36)，及 B.campestris (2n=20) × R.sativus (2n=18)合成 Brassicoraphanus (2n=38)育種較多（圖 7.）。有關人為合成法以 B.napus 為例，Anderson 與 Olsson (1959)建議有下列途徑：

1.完全合成種之方法：

(1) 二倍體個體間之正反交配：

A. 以 2n=19(ac)之 F_1 形成非還元配偶子，而生成 2n=38(aacc)之 F_2 植物。

B. 以秋水仙素處理誘成 2n=38(aacc)。

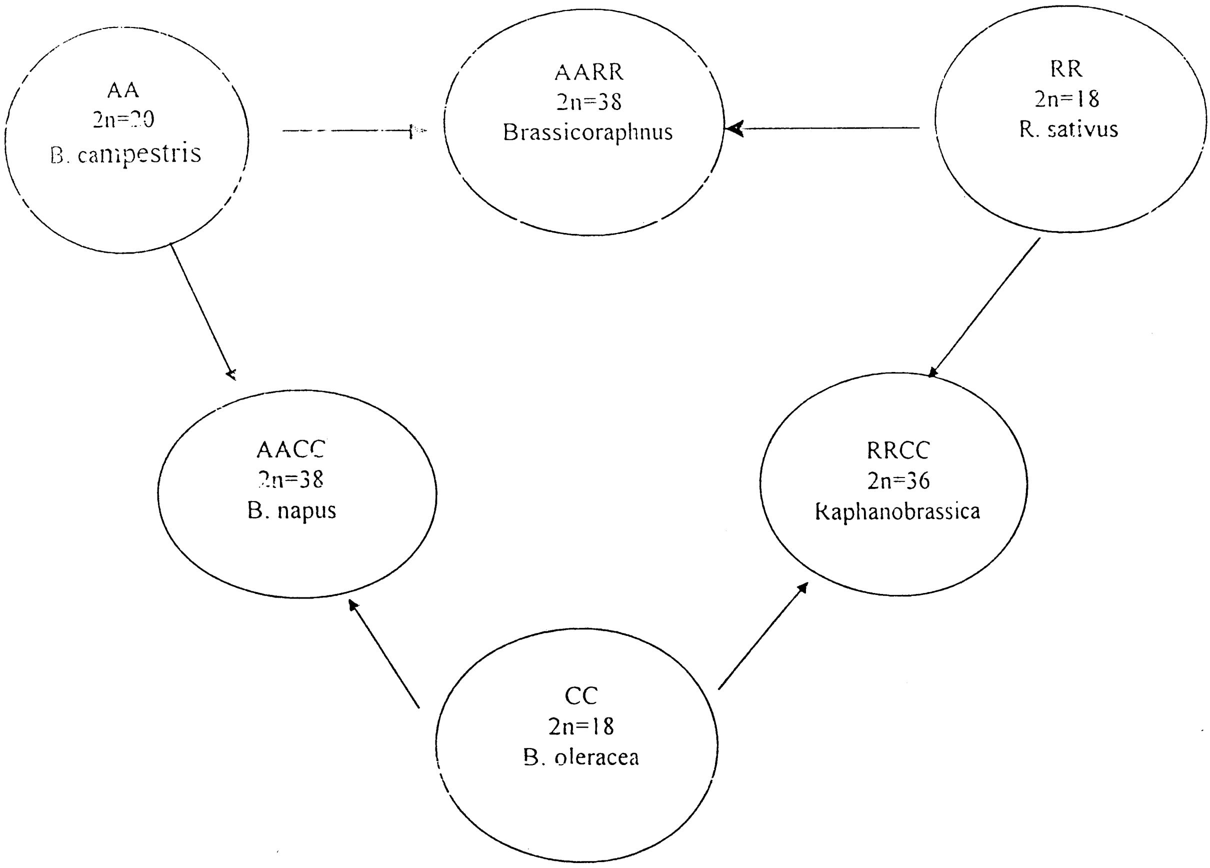


圖 7. 主要之人為合成菜類之染色體組

C. 由 endomitosis（核內分裂）使 F_1 形成 2n=38。

(2) 四倍體個體之正反交配：正常之育種法。

(3) 二倍體與四倍體之交配使形成 acc、aac 或 aacc 個體。

2.半合成種之方法：

(1) n=19(ac)之 F_1 形成非還元減數，以自然之 napus 花粉交配作成·

(2) 自然之 napus 逐漸導入新的 campestris 或 oleracea 之 Genome：

A. 首先 napus 以其基本種的 campestris 或 oleracea 行交配作成 aac 或 acc。此種非減數配偶子以 oleracea (c)交配或以 campestris (a)配作成 aacc。

B. 以前項之 aac 或 acc 植物，行秋水仙素處理倍加，此複合二倍數 aaaacc 或 aacccc 植物，以 oleracea (c)或 campestris (a)交配以作成 aacc。

日本之蒔田種苗公司和 Kirin 啤酒公司共同開發利用胚培養技術育成之種間雜種---千寶菜，其兩親本為甘藍（Brassica oleracea，2n=18）×小松葉（Brassica campestris，2n=20）。此育成之方法係上述以秋水仙素處理之完全合成法。

千寶 1 號為甘藍×小松菜之胚培養所選出二個優良系統相互組合，再經由雙雜交所育成如圖 3。其葉濃綠色，葉型似小松菜。味道具有甘藍的甜味，可做為煮、炒食。

千寶 2 號為甘藍×小松菜之胚培養 F_1 和甘藍×小白菜之胚培養 F_1，再行雙雜交而成。其葉色較千寶菜 1 號為淡，且葉較為波浪狀。

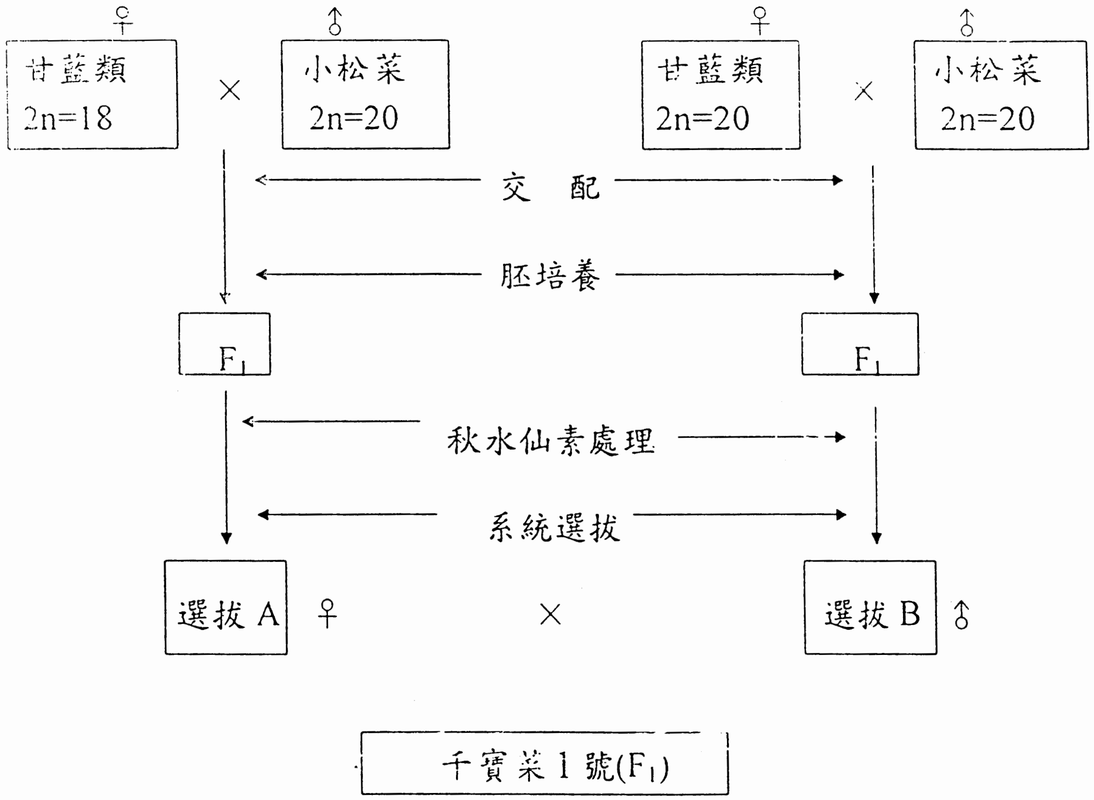


圖 8. 千寶菜 1 號之育成模式圖

此二品種除對軟腐病抵抗外，耐熱、耐寒性皆良好，且含高量維他命。

其他，細田等以白菜類（aa）和甘藍類（cc）以人為育成複二倍體飼料用油菜。

抗病育種

甘藍萎黃病（*Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*）係土壤病害，分為二型：美國威斯康辛大學於 1916 年所育成 Wisconsin Hollander 品種，於 22 ℃以下表抵抗性，而 24 ℃以上則為罹病性者是為 B 型。另一型也同為 Wisconsin 大學 1922 年育成之 All Head Early 品種，於高溫下仍表抵抗性者為 A 型。A 型為單顯性基因所控制，B 型為多基因所控制，且幾乎為隱性因子為多。日本長野縣野菜花卉試驗場育成 YCRSE 具有抗萎黃病及根瘤病之複合抗病品種，目前日本許多種苗公司育成之品種已有相當多品種皆為萎黃病抵抗之品種。

表 2. 日本育成之甘藍萎黃病抵抗性品種

品種名	品牌	育成公司
MYR 一號	宇治交配	丸種
MYR 二號	同上	同上
寒玉 1 號	とち木交配	東北種苗
銀秋 YR 1 號	サカタ交配	田種苗
銀秋 YR 2 號	同上	同上
高原 YR	同上	同上
こがね YR	同上	同上
50YR	天理交配	大和農園
三取	宇治交配	丸種
末廣	長岡交配	タキイ種苗
中早生理想	とち木交配	東北種苗
デライト YR	みかど交配	みかど育種
トツペ三號	宇治交配	丸種
70 YR	天理交配	大和農園
柳生 YR	同上	同上
YR 一希望	一代交配 MORI	協和種苗
YR 一錦秋	マスダ交配	增田採種場
YR 一深山	一代交配 MORI	協和種苗
YR 一新風	同上	同上
YR 一轟	同上	同上

品　種　名	品　　牌	育　成　公　司
YR－20號	長岡交配	タキイ種苗
YR　No.21	松島試交	渡邊採種場
YR　No.22	同上	同上
YR　No.23	同上	同上
YR　No.31	同上	同上
YR　50號	長岡交配	タキイ種苗
YR　53號	同上	同上
YR　54號	同上	同上
YR　73號	同上	同上
YR　114號	山陽交配	山陽種苗
YR　260號	同上	同上

甘藍根瘤病 *Plasmodiophora brassicas* 有 20 多個生理小種。Williams (1966)就發現 9 個生理小種。美國的抵抗性品種，對歐洲的生理小種不具抵抗性。但是於德國的甘藍品種 Bohmerwald Kohl 和 Bindsachsener 似對所有生理小種具抵抗性。謝氏調查台灣十字花科蔬菜根瘤之發生及品種之罹病性指出台灣栽培之芥藍、花椰菜等未見根瘤形成，而甘藍、青花菜、花椰菜對 ECD16/0/0 菌絲呈抗病反應，但對 EDC16/0/31 則呈現罹病反應。

抗病育種係單顯性或少數顯性基因所控制時，以一代雜交育種法將抗病基因轉入 F_1，再行選拔。如為多對隱性基因所控制而有累加性效應者，（如甘藍抗根瘤病）則參照輪迴選種法行之。

參考文獻

1.沈再發、杜金池、廖公益 1984. 同型結合葉深甘藍自交不親和性系統的遺傳分析　桃園區農改場蔬菜育種研討會專刊　123-134

2.沈再發、廖公益 1975 影響葉深甘藍自交不親和性之因素及其自交不親和性之打破　農林廳種苗繁殖場試驗告　第四輯 13-22

3.謝文瑞、黃一修 1988 台灣十字花科蔬菜根瘤病菌之病原性生理分化植保會刊 30:393

4.水島宇三郎 1952 アブラナ類の核遺傳學的研究 日本東北大學遺傳育種研究室 pp.1-112

5.西貞夫、栗山尚志、平岡達也 1964 アブラナ科蔬菜の種間および屬間交雜に關する研究 I. Pseudogamy にする傾母雜種 (matroclinous hybrid) の利用について日本試報告 3:161-250

6.細田友雄 1961 ブラシカ屬内ゲノム合成によるプナス型の作物育成に關する研究　日本東京教育大學農學部紀要第 7 號　1-74

7.蔬菜種子生產研究會 1988 育種および原種生產における雄性不稔の利用 バイテクにする野菜の採種 p.261-276

8.Haruta, T. 1962. Studies of self-and cross-incompatibitity in cruciferous vegetable. Takii pl. Breed. Exp. Stn. Kyoto. Japan. Res. Bull. No.2. 1-169

9.Johnson, A. G. 1971. Factors affecting the degree of self-incompatibility in inbred lines of brussels sprouts. Euphytica. 20:561-573

10.Johnson, A. G. 1972. Some cause of variation in the proportion of selfed seed present in F1 hybrid seed lots of Brussels sprouts. Euphytica. 21:309-316

11.Namai, G., M. Sarashima, and T. Hosoda, 1980. Interspecific and intergeneric hybridization breeding in Japan. Brassica crops and wild allies. Jap. sce. soc. Press. Tokyl. P.191-201

12.W. H. Hsieh and C. H. Yang 1985 Investigations on the Clubroot and the Susceptibility of Crucifers in Taiwan, Plant Prot. Bill. (Taiwan, R. O. C.)27:3-10

白菜類蔬菜育種

張連宗
亞洲蔬菜研究發展中心

前言

蔬菜是大眾生活不可或缺的必需品，而十字花科（Cruciferae）蔬菜則是台灣最常見的菜蔬。台灣菜價的起落漲跌，大多取決於葉菜類蔬菜的供應量。葉用蔬菜又以白菜居於最關鍵的地位，其次是甘藍和芥菜。台灣栽培的十字花科蔬菜，最常見的種類是白菜，依次是甘藍、蘿蔔和芥菜。白菜類（*Brassica campestris*）蔬菜（表 1.）可分為八個亞種，又各自分化成許多變種。品種繁多，一年四季，上山下海，無所不在，形形色色，蒸煮炒炸，醃漬泡涮，無所不能。

白菜類蔬菜的八個亞種，以大白菜亞種（ssp. *pekinensis*）最為重要，葉的中肋寬扁，能結球，以漳浦白菜為主的一代交配雜交品種，已經分化成早、中、晚熟性系列，只要選用適當的品種，交替種植，殆足以週年生產。山東白菜與天津白菜性好冷涼氣候，只有在冬天的平地，夏季高冷地少量栽培，供應有特殊偏好的北方菜館。汕頭白菜盛產於泰國的曼谷都會區，因為質地特別脆嫩，很不耐運輸，而且產量很低，所以在台灣殆無經濟栽培，採種幾乎全數外銷。尼龍白菜是從皇京白菜與鳳山白菜自然雜交的單株後代選育出來的半結球新菜種，發源於台南喜樹，在台南市郊較為盛行，其他都會區也有小面積栽培，直銷當地市場。小白菜亞種（ssp. *chinensis*）的葉柄寬扁、厚扁乃至扁圓不等，都不結球，以土白菜為主，青梗白菜居次，扁合白菜與葵扇白菜則鮮少種植。台灣各地栽種的本土化小白菜，普通稱為土白菜，其中以鳳山白菜最優秀。鳳山分所育成的台農一號，是以鳳山白菜與皇京白菜做親本，進行人工雜交育種，比鳳山白菜品質柔軟，風味甘甜，耐熱豐產，適合夏季栽培。鄭奇種苗公司育成的晚生小白菜，則是應用黃金白菜與日本進口的一條根晚生小白菜進行雜交育種，耐寒又耐熱，適應性很廣，單一品種就能週年栽培，夏作比本產的土白菜高產，冬作比進口的日本小白菜質優。小油菜亞種（ssp. *parachinensis*）的葉柄扁圓乃至圓形，不能結球，以油菜為主，油菜心居次，紅菜苔只零星栽植。油菜平常不抽花苔，較耐寒，產量也較高。油菜心則以花苔為主產物，原來是廣東的特色菜種，光復以後才引進台灣。鄭奇種苗公司育成的極晚生油菜，則是應用晚生油菜與青梗白菜做親本，進行雜交育種，兼有豐產、耐熱又耐寒的特性，可以週年栽培生產，還帶有青梗白菜的扁圓甲特性，所以又稱為油白菜。烏塌菜亞種（ssp. *narinosa*）的葉片墨綠色，塌地生長，葉柄扁圓， 耐寒力強。上海一帶栽培的塌棵菜不能結球。瓢兒菜頂芽較發達，能夠半結球，是南京一帶的特產。在日本演化專供漬菜用的小葉白菜（ssp. *japonica*），葉片細長，叢生側芽。壬生菜的葉片全緣，京水菜則是葉緣深裂。蕪

菁亞種（ssp. *rapifera*）多以肥大的根部為主產物，而日本的野澤菜是以全株葉供鮮食或醃漬用。

表 1. 常見的白菜類（*Brassica campestris*）蔬菜

亞　種	英　名	品　種	用途
campestris	sarson	蕓苔	油料
pekinensis	Chinese cabbage	漳浦白菜	鮮食、泡菜
大白菜		山東白菜	鮮食、涮菜
		天津白菜	鮮食、冬菜
		洛陽白菜	鮮食
		花心白菜	鮮食
		汕頭白菜	鮮食
		尼龍白菜	鮮食
chinensis	pak choi	土白菜	鮮食、綠肥、蜜源
小白菜		青梗白菜	鮮食
		扁合白菜	鮮食、醃菜
		葵扇白菜	鮮食、醃菜
parachinensis	choy sum	油菜	鮮食、油料、飼料、綠肥、蜜源
小油菜		油菜心	鮮食、油料、飼料、綠肥、蜜源
		紅菜苔	鮮食
narinosa	taatsai	烏塌菜	鮮食
烏塌菜		塌棵菜	鮮食
		瓢兒菜	鮮食
japonica		壬生菜	鮮食、漬菜
		京水菜	鮮食、漬菜
oleifera	turnip rape		油料
rapifera	turnip	蕪菁	鮮食、飼料
蕪菁		野澤菜	鮮食、漬菜

一般植物性狀

白菜類蔬菜是二年生或一年生的草本植物。主根纖細，側根發達，多分佈於30公分的表土層，有相當發達的淺根系。

子葉兩枚，對生，腎臟形至倒心臟形，有葉柄。基生葉兩枚，對生，與子葉垂直呈十字形，葉片長橢圓形，長度大于寬度三倍，大多有明顯的葉柄。在營養生長時期，莖部短縮，愈近頂端節間越短，每節發生根出葉一枚，密集而形成蓮座。進入生殖生長時期，由短縮莖的頂端發生花莖。花莖伸長迅速並發生分枝而長成相當高大的植株。植株基部的分枝較長而上部的分枝短，使整株形成圓錐狀。花

莖淡綠色至綠色，表面有蠟粉。根出葉單生，葉片闊大，葉緣全緣或波狀，色淡綠至墨綠色，表面無明顯蠟粉，葉背脈上有毛或無毛。花莖與花枝上發生的莖生葉，小於根出葉，互生。下部的莖生葉較寬大，上部的葉漸漸的窄小，表面有明顯的蠟粉。

花序為總狀花序，未開花之前短縮，開花結果時不斷伸長，花集中於花序頂端，已開的花高出於花蕾。花形整齊，雙性完全花，黃色，直徑 1.2 至 1.8 公分。花萼四枚，綠色。花瓣四枚，交叉對生成十字形，其基部窄長成爪狀，上部瓣片寬大，冠檐開展，淡黃至黃色。花瓣基部有蜜腺四枚，能分泌蜜汁引誘昆虫，為虫媒花。雄蕊六枚，排列成兩輪，內輪四枚，其花絲較長，外輪兩枚，其花絲較短，所以稱為四強雄蕊。花藥二室，成熟時縱裂而釋放花粉。雌蕊一枚，子房上位，兩心室，一花柱，柱頭為頭狀（圖 1.）。

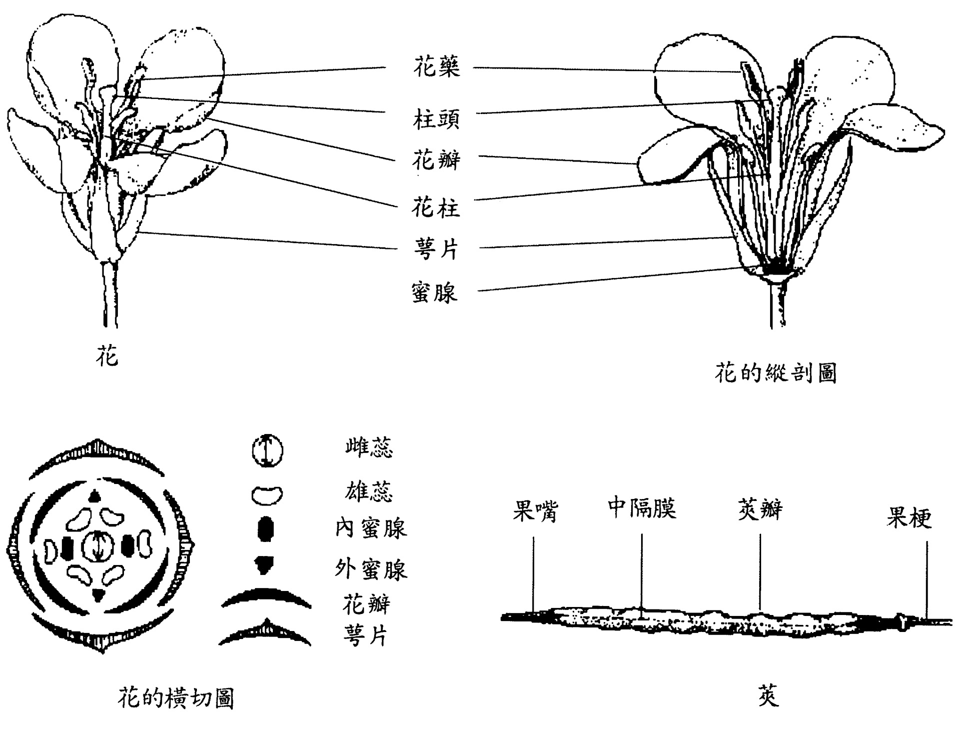


圖 1.　白菜的花與莢

果實為長角果，細圓筒形，長3至6公分，有柄。成熟時，由尾端縱裂張開為兩個半圓形莢瓣，種子著生於中隔膜兩側胎座上，果實先端有細瘦果嘴，以橫隔膜與角果本身分開。果嘴內無種子。種子圓球形，直徑小於2公厘，紅褐至深褐色。種子內無胚乳，子葉兩枚，因貯藏養分而肥厚，互相褶疊，上面的一枚通常比較大。

授粉技術

白菜花滿開之時，柱頭略高於花藥，又在花瓣基部有四枚蜜腺分泌蜜汁，能引誘昆虫採蜜而媒介授粉。自然授粉以蜜蜂為主，黃蜂、蝶、蛾、蠅類也能媒介，常異交。進行育種工作時，必須人工控制授粉，以確保交配目標。控制授粉的方式，有除雄、套袋、罩網、以及網室、溫室，或空間隔離進行大面積採種。

授粉用具不外硫酸紙袋或網袋，75%酒精，棉花，培養皿，夾子，標示牌，鉛筆，鑷子或毛筆。如果開花時期不能配合，可以設法貯藏花粉。搜集蜜蜂的胸部，先用清水再用 75%酒精洗淨晒乾，各別插根牙籤，做成像棉球棒的蜂胸棒，冷藏備用。沾帶花粉的蜂胸棒，放在裝著矽膠的玻璃瓶內密封，以-10 至-12℃的冰箱冷凍室貯藏，可以保存三、四個月。花粉使用前，先移到 5℃的冰箱冷藏室解凍，數小時後才拿出來，再經過室溫 30 分鐘以上，才行授粉。

隔離套袋之前，需將已開的花摘除淨盡，等待開足需要的花數才行人工授粉。如無自交不親和之虞，則可用毛筆沾同株花粉行自交授粉。如欲檢驗自交不親和性，則需用尖鑷子，先摘除已開太老的花朵與太嫩的小蕾，再夾開花蕾使柱頭露出，取同株套袋內的新鮮花粉沾授在柱頭上，同時進行開花和蕾期授粉。進行雜交授粉時，一般是先把已開的花與當天即將開的大花蕾，以及太嫩的小花蕾摘除，再用尖利鑷子去雄，夾除六枚花藥，即時進行蕾期雜交授粉。如果確定母本具備自交不親和性，也可以將未開之花蕾摘除，而只進行開花雜交授粉。完成授粉重行套袋前，須在授粉花枝上懸掛標示牌，註明授粉日期、授粉方式（自交授粉之開花授粉與蕾期授粉花數，或雜交授粉之組合與花數）。等待套在袋內的花瓣脫落以後，才將套袋解除，以利種子發育。

育種目標

白菜品種改良工作者，傳統上都以豐產、優質、抗病和抗逆性做為共同追求的育種目標。隨著社會變遷，家庭結構變化，現代家庭的人口數減少，又因冰箱的普遍化，傳統上的「大」白菜也應消費者的需求而小型化。品種改良的目的在於滿足生產者與消費者對優良品種的需求。白菜的品種改良，必須因應當前乃至將來一段時期生產與消費市場的要求而未雨綢繆。

一、豐產性

白菜單位面積產量的構成因素是平均單株重、單位面積株數與收穫指數。收穫指數就是淨菜率，即平均單株淨菜重除以平均單株毛菜重。除了大白菜以葉球為商品外，其他小葉菜都全株採收銷售。植株高大，株型直立是提升單位面積產量的主要前題。大白菜還得重視淨菜率的提高。選擇生理上光合作用強而呼吸作用弱的高光效型，淨同化率高，淨 CO_2 交換率高，光合產物傳輸速度快及根系吸收能力強；配合形態上株型高大直立，適合密植的品種，才能提高對光能與土地的利用效率。

二、抗病性

軟腐病、病毒病與露菌病是白菜的三種主要病害，往往造成大幅減產。近年來黑斑病、黑腐病與菌核病也常發生。軟腐病與病毒病幾乎無藥可救。露菌病與其它次要病害雖然有藥可施，但效果卻不盡理想，不僅增加生產成本，而且造成環境污染，農藥殘毒更直接為害人體健康。抗病育種是豐產、穩產，減低成本，增加收益的有效途徑。

三、高品質

品質性狀包括商品的形態、色澤、風味、營養成份。王景義等人(1989) 研究發現，大白菜軟葉含有的維生素、粗蛋白、糖份、乾物質及可溶性固形物都高於葉柄的含量，適口性也比較好（醃漬除外），軟葉率可做為大白菜品質改良的一個指標。近年來隨著生活水準的提高而越來越注重蔬果的殘毒含量，隨著生機飲食的流行也漸漸接受較高價位的有機栽培產品。

四、生育期

生育期長短關係著產期安排，輪作制度與收量高低。一般而言，生育期與產量有正相關，但是早熟品種可能減少颱風豪雨和病虫害的侵襲，有穩產避險的好處。短期小葉菜，配合網室設施和適當的管理規劃，可能減免農藥施用，生產安全衛生蔬菜，使消費者願意提高付費而安心食用，增加生產者的收益。

五、一致性

早期交通不便，菜農用肩挑或人力車搬運到鄰近市場銷售，運量有限，在田間逐個精挑細選，多次慢慢採收，可以獲得最高收益，不嫌固定品種之整齊度。隨著時代進步，交通大為改善，路面平坦，運輸工具既快速化又大型化，由摩托車而小貨車、大貨車，終於直接開到田間打包裝車，運送到大都會的拍賣市場，菜販要求商品整齊均勻，並且一次採收清園。普通固定種不易整齊一致，而逐漸被一代交配種所取代。品種內參差不齊，造成植株大小不齊的生育期差異，使得肥水管理，噴藥防治的時機難以控制，而採收時成熟度的差異，減低採收率，影響產量及品質。

六、抗逆性

夏季高溫多雨，害虫滋生，病害流行，易使植株生長虛弱，導致低產又品質不良，因此耐熱性育種一直是紓解台灣夏季蔬菜短缺的最佳手段。冬季寒流低溫，白菜幼苗就會感溫春化，太早抽苔開花，喪失商品價值，使得菜農血本無歸。耐寒性育種對於南方大白菜（漳浦白菜、皇京白菜和尼龍白菜），以及土白菜和油菜心等都相當的迫切。春天乍暖還寒，忽冷忽熱，影響肥料與水份的吸收利用，引起生理障礙失調，很容易發生頂燒症，以及大白菜的心腐症等，以致失去商品價值，造成重大損失。

七、耐藏性

大白菜是重要的貯藏蔬菜。中國北方地區的貯藏供應期長達五至六個月。台灣氣候溫暖，終年可以栽培生產，但幾乎每年都會有一段期間產銷失衡，造成「菜

金菜土」的現象，需要靠庫藏蔬菜釋放出來，調節市場供需，穩定菜價。耐藏性不僅要求可貯期長又耗損率低，而且能長期保持良好的食用品質。影響耐藏性的主要性狀有生育期長短，花芽分化早晚、抗病性強弱和呼吸作用強度等。

種原搜集篩選與利用

「巧婦難為無米之炊」，遺傳材料的搜集是育種工作的先行步驟。一個具有高遺傳歧異度（genetic diversity）的基因庫（gene pool）是育種家研究創造新品種的最佳憑藉。愈繁複多樣的基因庫，愈有機會包涵意想的基因，便愈容易達成育種目標。種原必先經適當的方法篩選鑑定，才能進而加以有效利用。

一、耐熱性的篩選與利用

形態上，耐熱白菜的葉柄較短，葉片較重，主根較粗，而且主根的分枝較多，根系發達。在高溫環境下，耐熱品種地上部對根部的乾重比值較不受影響。耐熱品種較能保持澎潤狀態，葉片蒸散失水較緩慢，在高溫烈日下，葉片不易萎凋。耐熱品種含有較多的電解質，植株生長過程中，總傳導度與電導度都比較高。

亞蔬中心在初期選擇耐熱結球白菜時，發現耐熱品種都較早熟，結成緊硬的小球，對低溫較敏感，容易抽苔。又發現經 GA （ gibberellic acid ）處理耐熱品種的胚莖反應較敏感，伸長較快。根據上述的一些特徵，亞蔬中心研發下列幾種耐熱篩選的方法：

（一）春化效應 幼苗在連續光照及 5 ℃的溫度下，處理 20 天，可以區別耐熱與不耐熱的植株。耐熱品種春化效應較敏感，較易抽苔。

（二）GA 處理 種子以 500ppm 的 GA4/7 處理 24 小時，然後在培養基上發芽，六天以後測量胚莖的長度，可以區別耐熱與不耐熱的植株。耐熱品種對 GA 處理反應強，胚莖的長度顯著增加。

（三）電導度 耐熱品種含有較多的電解質，測定葉片的電導度，可以區別耐熱與不耐熱。耐熱品種生長過程中，電導度都比不耐熱品種高。電導度的測定可用 Barnstead Conductivity Meter Model 70CB 。

（四）田間耐熱性檢定 前述三種方法可用來做早期篩選，以淘汰不耐熱植株。但在選拔過程中，一定要經過熱天（平均溫度高於 25 ℃）的田間耐熱性檢定才算確認，同時可選拔其他預期的目標性狀。

結球白菜耐熱材料的來源可分為漳浦與皇京兩系。漳浦系發源自閩南的漳浦，在台灣各地春夏秋季普遍栽培。亞蔬中心已搜集到 81 種（表 2.），絕大多數來自台灣。常用在耐熱育種比較重要的種原有 B129（夏勝 35 天）、B152（赤葉一號），B162（夏勝）和 B189（黑葉）等都來自台灣。皇京系發源自廣東的潮州，流行於泰國的京城曼谷大都會區。經由汕頭傳到台南，採種幾乎全部外銷。皇京系耐熱的種原較少，只有八種，半數（B002 、B003 、B104 、B854）來自泰國， B035 、B052 來自台灣，B641 來自香港，B848 來自中國。

表 2. 亞蔬中心搜集可供白菜育種材料之特殊種原

特性	作物	種原數	重要種原編號
耐熱	漳浦白菜	81	B129，B152，B162
	皇京白菜	8	B002，B052，B104
抗病毒病	大白菜	60	B141，B204，B281，B644，B708，B730
	小白菜	1	B461
	大油菜	2	B056，B064
抗露菌病	大白菜	2	B204，B742
	白藍菜	1	B639
抗軟腐病	白藍菜	1	B639
抗根瘤病	大白菜	1	B001

二、抗病性的篩選與利用

人工引導的發病環境，可以提供最好的選拔壓力，以鑑定品種的抗病性。在高溫環境裡，病害大多有增加嚴重性的趨勢，因此發病圃通常都於夏天設置，或在溫室內進行人工接種。軟腐病、露菌病和病毒病是白菜的三種主要病害。抗病性篩選的方法，因病害的病原菌與作物不同而異。亞蔬中心就不同病原菌而採用下列幾種抗病篩選的方法：

（一）細菌性病害的人工接種 白菜軟腐病應用沾菌穿刺法接種或以 10^8 菌落/ml 土壤混菌法接種。

（二）真菌性病害的人工接種 白菜露菌病則從發病植株上採集病菌孢子，製成 10^4-10^6 孢子/ml 懸浮液為接種原，使用噴霧法接種。

（三）病毒病的人工接種 白菜的蕪菁嵌紋病毒病有五個不同的病毒品系，人工接種都是先培養罹病毒病的植株，再由病株萃取汁液，利用金鋼砂或貝殼砂粉末，以機械磨擦方法進行人工接種。接種後先以目測觀察病徵，沒有出現病徵的植株才取樣進行 ELISA 測定。

許多大白菜種原對三個不同病毒品系具有抗性（表 2.），但對 C4 與 C5 品系的抗病種原，卻只發現來自韓國的 B730（平岡新一號）一種而已。從小白菜種原裡面也發現一種來自日本的 B461（雪白體菜）抗病毒。只有兩種來自韓國的大白菜 B204（耐病 60 天 F_1）和 B742（試交 F_1）抗露菌病。另外人工種間雜交大白菜與甘藍菜的合成四元体品種 B639（白藍菜）則能兼抗露菌病與軟腐病，而做為抗軟腐病回交育種計劃的抗病親本。B204 兼抗病毒病與抗露菌病，乃是亞蔬一號抗露菌病的來源。

育 種 方 法

白菜雖然是雌雄同株同花，但花瓣色彩鮮豔，花粉具有香味，又有蜜腺能分泌蜜汁，引誘昆虫採粉吸蜜，自然而然的傳佈花粉，因此繁殖之時要求嚴密隔離，以避免虫媒授粉雜交。加以有些族群內含自交不親和性，更增雜交受粉的機率，因此白菜歸屬於異花授粉蔬菜，遺傳基因型常是異質結合，不易純化，又通常會有近交衰退（inbreeding depression）的現象，而不適用純系育種法。白菜的品種改良與其他異交作物相似，都著力於族群的架構與遺傳變異性。主要方法包括(1)引種（introduction）；(2)選種（selection）；(3)雜交育種（hybridization）；與(4)一代交配育種（F_1 hybrid breeding）。引種只是以品種或雜交組合為單位進行比較選擇。選種是以現有品種在繁殖過程中產生的異變為基礎，先以單株為單位進行選擇，再進行系統群体間比較選擇。雜交育種則是利用現有品種先進行遺傳重組，再進行選擇工作。一代交配育種倒是先行選育自交系，再進行雜交組合的選擇。引種只選用已有的品種或雜交組合，選種、雜交育種與一代交配育種則能創新品種。

一、引種（ Introduction ）

引種是品種改良的一條重要途徑，具有簡單易行，迅速見效的特點。針對當前的生產需要，把外地的優良品種通過適應性試驗，直接在本地推廣種植的工作，稱為引種或生產性引種。廣義的引種是指從外地引進新作物新品種，以及為育種和有關理論研究所需的各種質資源，包括具有特殊優良性狀，但不能直接應用於生產，只做為育種材料而引入的種質資源。

引種的作用不僅在於所引進的品種直接用於生產，以提高產量與品質，而且還可充實育種的遺傳資源，為其他途徑的育種工作提供原始材料。從外地引進的品種，可能不適應新環境的自然氣候、土壤條件，栽培制度或市場需求，但卻往往表現出特殊的優良性狀，或者出現有利的變異，從而成為選擇育種可貴的原始材料，經由選擇優良單株，有可能育成新的品種。引進具有特殊優良性狀的種質資源，經過雜交育種而與本地品種的優良性狀結合，可能創造出更優秀的品種。

二、選種（ Selection ）

選種是改良現有品種和創造新品種的簡便而有效的途徑。利用現有品種在繁殖過程中產生的變異，經過選擇、淘汰的過程而育成新品種的方法，稱為選種。在人類進行雜交育種以前，所有栽培作物的品種，都是通過選種途徑創造出來的。當經過引種觀察認為現有品種都不符合要求時，或雖未進行廣泛的引種工作，但根據各地的品種介紹，估計所需品種不能經由引種解決時，才值得考慮採取選種途徑。因為要完成一個選種過程，往往需要六至七代以上的時間和人力物力的投資，不如引種直接省事。如果現有品種的主要性狀大多符合要求，只有少數性狀表現較差，而這少數較差性狀在個体間的差異較大，則採用選種途徑往往最經濟有效。

（一）混合選種（ Mass selection ）

混合選種為最簡易古老的選種技術，主要目的在於提高族群內的優良性狀頻度。選種流程是從原始的基本族群（ base population ）裏選擇表現優良的單株，誘使選株開花，放任互相自然雜交授粉，混合採收種子而成新的基本族群（圖 2.）。再利用新的基本族群，重複進行選種，直到完成改良目標為止。這種方法簡便易行，費用不多，而且很快就會看出成效。通常三年之內就能檢驗出族群改良的效果。但是這種方法卻難以達到一致的整齊性，也難保持完整不變的後代族群，而需要經驗老到

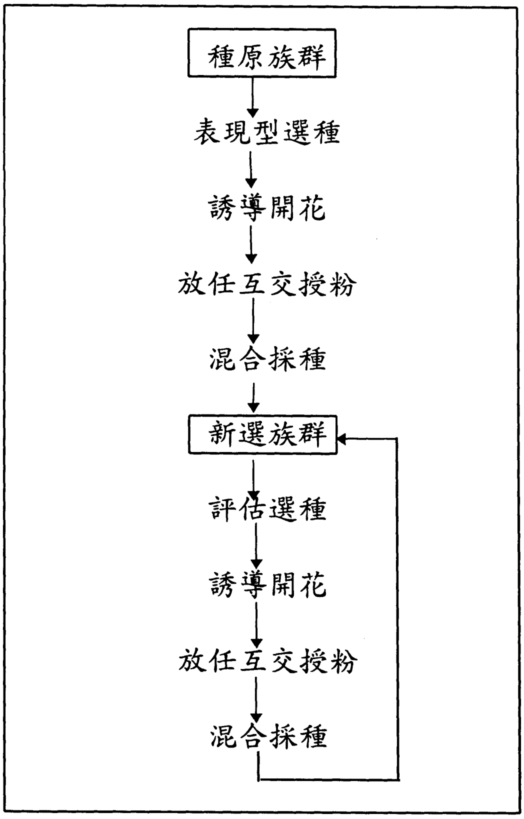


圖 2.　混合選種流程圖

精練的後續選種，才能維持品種特性的高標水準。嚴格選擇，固然能提升整齊性，但若選株太少，則易導致生長勢衰退或採種量減少的現象。因此選株盡量維持在 50 株以上，而且對於各目標性狀都要選出特色單株，加以混合授粉採種，才能維持品種特性。

（二）族系選種（ Family selection ）

如同混合選種，選出表現優良的植株，誘使開花，放任互相自然雜交授粉，但選株種子分別單株採收以組成族系（ family ）。然後，將所有的族系，分系種在一起比較其表現，只有最優族系才能參加進一步的選種。最優族系的選株，特別是性狀相似的種在一起繁殖種子，又分別

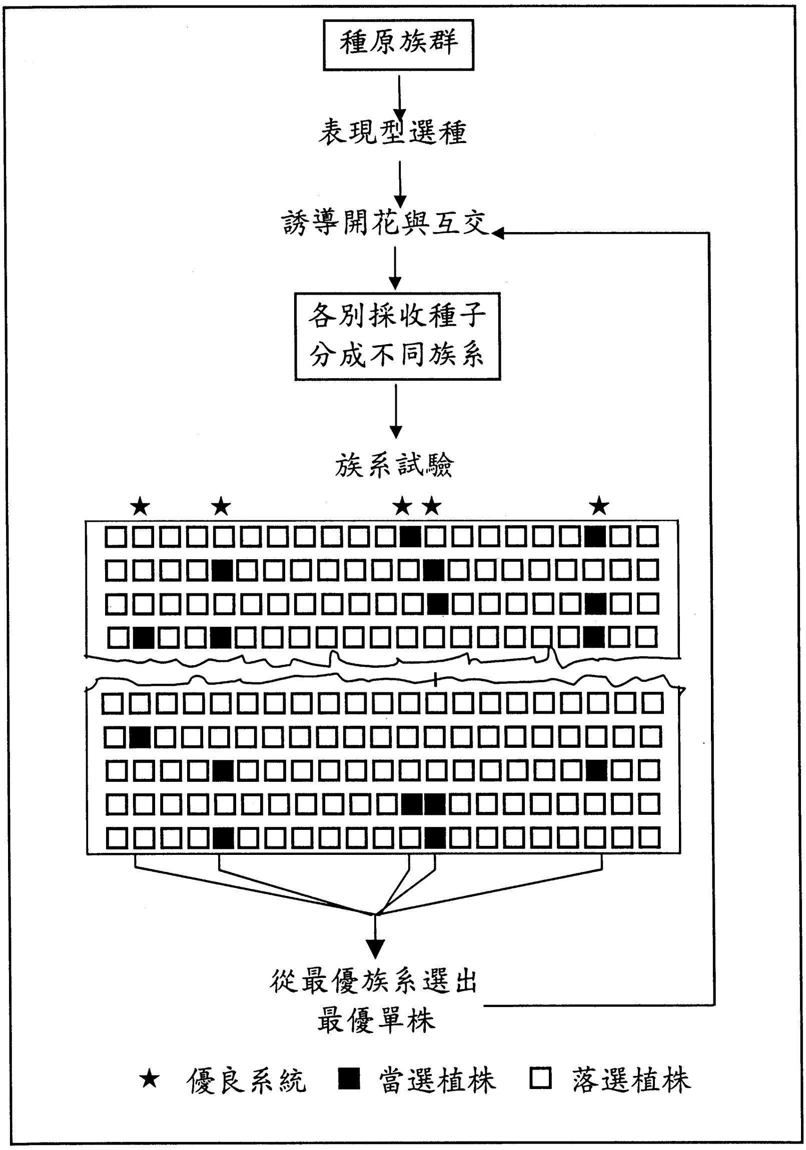


圖 3 、族系選種流程圖

單株採收組成新的族系（圖 3.）。如此重複選種，繼續改良目標性狀。因為只有遺傳性優越的選株後裔，才能繼續參與進一步的選種，所以族系選種比混合選種更有效率。如果在每個新世代都留意選擇足夠數量的選株，又在族系後裔試驗時得以消除環境因素的干擾，族系選種法就能克服混合選種法的限制與缺點。只需稍多費些功夫，族系選種法便成為更有效育成或保存固定品種的良方。

（三）母系選種（Maternal line selection）

從原始的基本族群選擇表現優良的植株，約 200 至 500 株，其中的

特優選株約 10 至 40 株，種在採種圃的中央。如同混合選種，誘使開花，放任互相自然雜交授粉。種在中央的特優選株種子分別單株採收，以組

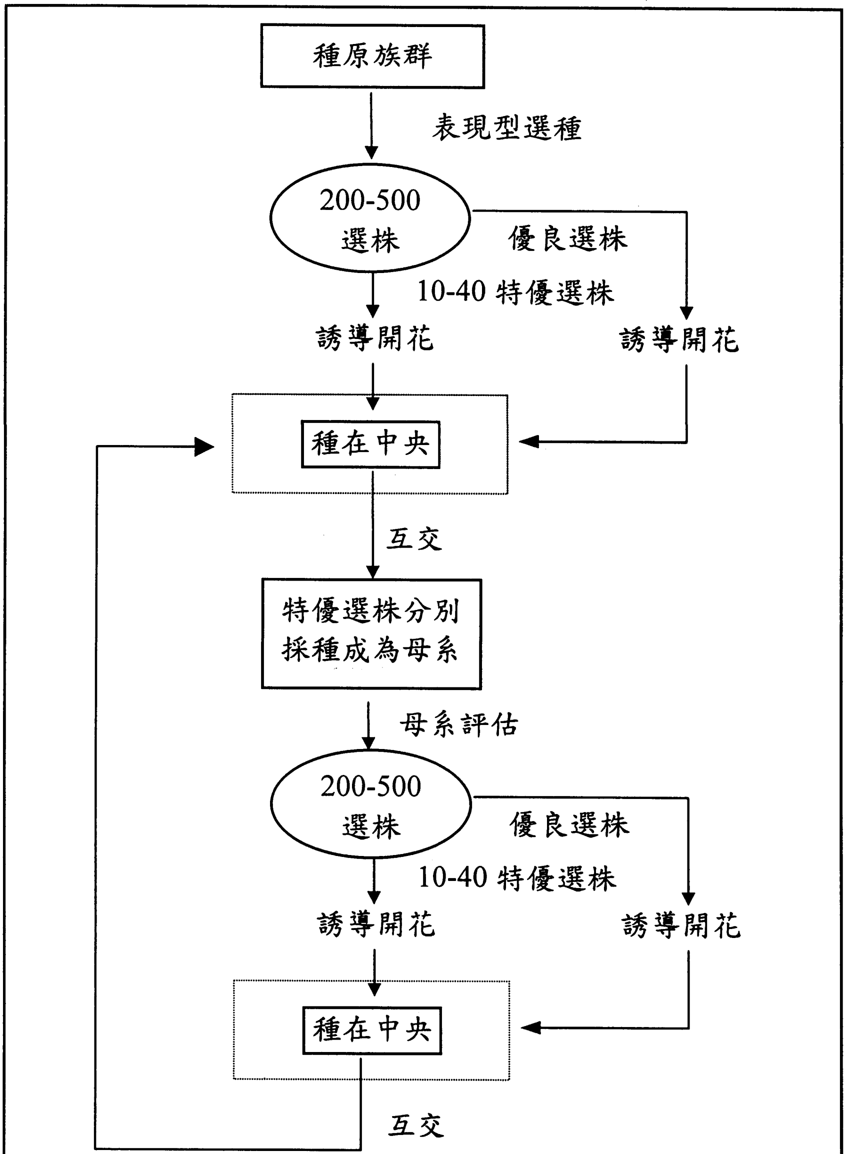


圖 4　母系選種流程圖

成下輪選種的母系（maternal line）。然後，將所有的母系，分系種在一起比較其表現，只有優良母系才能參加進一步的選種。特優母系的特優選株再度種在採種圃的中央，放任在採種圃內自然雜交授粉。種在中央的特優選株種子，又分別單株採收，以組成下輪選種的新母系（圖 4.）。如此重複幾輪選種，即可育成新的品種。這種方法就當做花粉親本的優良選株而言，像是混合選種，然而就當做母系親本的特優選株而言、像似族系選種。

篠原捨喜等人（ 1958 ）為避免混合選種之難以達到整齊性與族系選種有遺失優良基因之虞，同時又能在短期內達到選擇的效果，而首創母系選種法。他們應用這個選種方法，經過五至六輪的選育，就顯著改良結球白菜固定品種的整齊度與早熟性。母系選種法對於可遺傳性高的性狀，以及改良異質結構的固定品種非常有效。

（四）輪迴選種（ Recurrent selection ）

在族系選種時，選株優越性的判斷是根據其放任自然授粉所得後裔的表現。通常這樣的後裔試驗比選株本身的表現提供更正確的育種價值評量。產生後裔試驗種子的交配方法，可以是放任授粉（ open-pollination ）（有如族系選種）、自交（ selfing ）、 頂交（ topcross ）、多交（ polycross ）與全互交（ diallel cross ）。

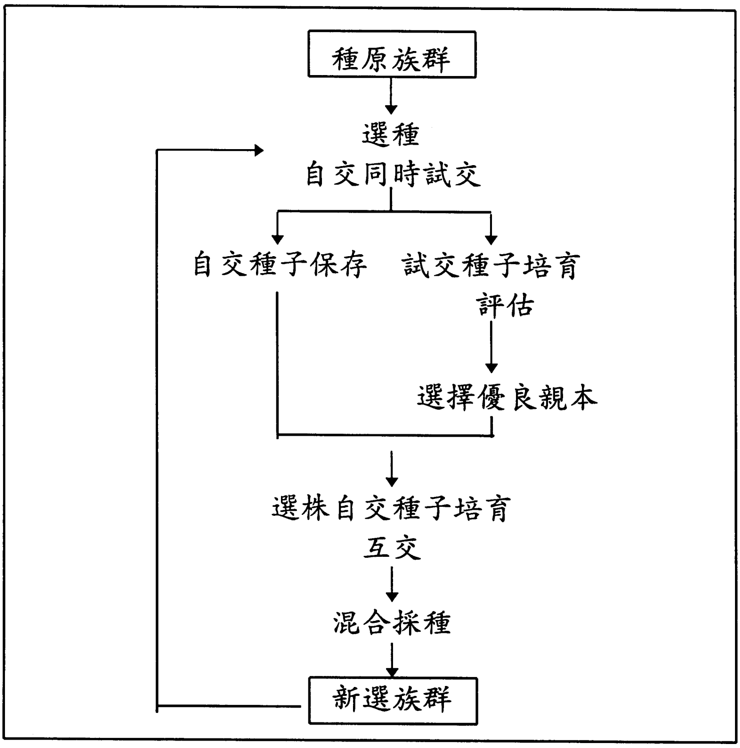


圖 5. 輪迴選種法流程圖

為了累積一個特殊的數量遺傳性狀之必要基因，又不致大幅遺失遺傳變異性，輪迴選種法重複選擇優良選株互交所產生的隔代族群。從一個遺傳變異的原始族群，選擇約 10%具有特定性狀的優秀單株。選株誘導開花後，同時自交與試交，分別單株採收種子。試交的後代種植在有重複的試驗田，進行評估其一般表現。根據試交的評估試驗結果，再挑選表現最優的 20%，使其全體選種強度達到 2%。回頭取其相等數量的自交種子混合均勻，種植在隔離區，誘導開花，放任自

然授粉互交，然後混合採收種子而成新的基本族群，提供下一輪迴繼續選種（圖5.）。

優良選株互交而組成下一輪迴的基本族群，而選株的評估則取決於試交的表現。如果使用一個遺傳基礎寬廣的試交親（例如固定種），則輪迴選種是為選擇一般族群表現的一般組合力（general combining ability）。如果使用一個遺傳基礎狹窄的試交親（例如同質自交系），則輪迴選種是為選擇特定雜交組合表現的特殊組合力（specific combining ability）。一般組合力的輪迴選種可有效增加耐熱結球白菜葉球的重量。

三、雜交育種（Hybridization）

雜交育種是根據育種目標選配親本，藉著人工雜交，把分散在不同親本的優良性狀組合到雜種之中，培育後代進行選擇，比較鑑定，而獲得遺傳性相對穩定、有栽培和利用價值的定型新品種的育種途徑。由於選用的親本之親緣關係遠近不同，而區分為近緣雜交與遠緣雜交。近緣雜交所用的雜交親本屬於同一物種範圍內的類型或品種，而遠緣雜交則超出一個物種範圍的種間或屬間的雜交。雜種後代的變異性質可以通過對親本的選配而得到控制。雜種第二代的變異範圍遠比一般品種自然發生的變異較廣，而為選擇提供豐富的材料基礎。

雜交的目地在於獲得重組基因所控制的優良性狀。因為遺傳機制不同，基因重組（gene recombination）獲得的可能有下列幾種不同的遺傳效果：（1）綜合雙親優良性狀－當控制優良性狀的基因位於異源染色體上時，雜交後代會在獨立遺傳的基因自由組合規律支配下，將雙親的優良性狀重組，而經過選擇培育成新品種。（2）產生新的性狀－當控制優良性狀的基因，具有共顯性（codominance）、超顯性（overdominance）或上位性（epistasis）遺傳時，雜交後代會由於基因重組而改變基因相互作用（gene interaction），因此產生新的性狀。（3）產生超親性狀－當控制優良性狀的基因，具有數量遺傳的累加效應時，雜交分離後代會出現性狀數值超過親本及 F_1 代的變異範圍，稱為超親現象（transgression）。

（一）雜交親本的選配

雜交親本傳遞給雜種的基因是雜種性狀形成的內在物質基礎。親本選擇是根據品種選育目標選用具有優良性狀的品種類型作為雜交親本。親本選配是從當選親本之中，選用親本（父母本的取決）配組雜交與配組的方式（多系雜交親本參與配組的先後次序）。親本選配得當，可以獲得較多符合選育目標的變異類型，從而提高育種工作的效率。

1. 親本選擇的原則

(1) 明確選擇親本的目標性狀 根據品種選育的目標，確定對將當選親本的性狀要求，分清主次，對希望性狀有較高水準，必要性狀不低於一般水準。例如，在抗病、優質育種時，親本的抗病、優質希望性狀的水準應高標，而成熟期、株型、產品器官形態等必要性狀應不低於一般水準，並能被生產和消費者接受。

(2) 研究了解目標性狀的遺傳規律 對目標性狀的遺傳規律了解得越透徹，就越能掌握適當的選育方法，得到事半功倍的成果，避免徒勞無功的窘境。親本如果帶有遺傳傳遞力很強的一個不良性狀，就可能會對後代的改造增加很多困難，而導致整個育種計劃功虧一簣。

(3) 掌握育種目標所要求的大量原始材料 根據育種目標的要求，搜集的原始材料越豐富，就越容易選得符合需要的雜交親本。有些病害的抗病性在一般栽培品種無法找到，就得把原始材料的搜集範圍擴大到半栽培類型，甚至近緣野生類型。

(4) 親本應盡可能兼具多樣優良性狀 親本的優良性狀多而不良性狀少，則便於選配能夠單交互補的雙親；否則就需要採取多系雜交，增加工作的複雜性與育種的年限。

(5) 重用地方品種 地方品種是當地長期自然選擇與人工選擇的精華，對當地的自然條件和栽培條件有良好的適應性，產品符合當地的消費習性，即使有缺點也已很了解。應用地方品種育成的品種，對當地的環境適應性強，又容易被當地的消費市場接受。

(6) 親本優良性狀的遺傳傳遞力要強 雜交親本具有同一對性狀，各方遺傳傳遞給後代的力量有強有弱。雜種後代出現優良性狀的程度與優良性狀個體的頻率，傾向於遺傳傳遞力強的親本。通常野生的或原始類型的＞栽培性狀，母本的＞父本的性狀，純種性的＞雜種性的性狀，本地穩定表現的＞不穩定表現的性狀。應該選擇優良性狀傳遞力強，不良性狀傳遞力弱的親本，才會使雜交後代族群有較多優良性狀組合的個體出現。

2. 親本選配的原則

(1) 親本性狀互補 性狀互補就是雜交親本雙方互相截長補短，把親本雙方的優良性狀綜合，集於雜交後代一身。優良性狀互補有兩個面向：不同性狀的互補和構成同一性狀的不同單位性狀互補。在育種實踐上，可多選配一些親本的組合，應用遺傳學上數量性狀的累加效應，篩選出達到高親水準甚至超親的優良組合。

(2) 不同類型或不同地理起源的親本相組配 不同類型是生長發育習性不同，栽培季節不同或其他性狀方面有明顯差異的親本，親緣關係大多比同類型的基因型有較大分化。不同地理起源是一般性狀方面差異不很大，而且基因型已比同地區的品種間有較大分化，對自然條件的適應性卻有較大差異。用這些差異的親本相配，後代的分離往往較大，也容易選出理想的性狀重組合新品種，但實質成果終究取決於親本基因型差異的程度和性質。

(3) 以兼具最多優良性狀的親本作為母本 由於母本細胞質對後代的影響，往往後代性狀較多傾向母本。因此以兼具較多優良性狀的親本作為母本，而以具有需要改良性狀的親本做為父本，雜交後代出現綜合優良性狀的機會較多。例如當育種目標是提高早熟、優質品種的抗病性時，抗病性是需要改良的性狀，選配親本時應該用品質、早熟性和其他經濟性狀都符合要求的不抗病品種做母本，用抗病品種做父本。用本地品種與外地品種雜交時，通常以本地品種做母本。用栽培品種與野生類型雜交時，通常用栽培品種做母本。

(4) 質量性狀，雙親之一要符合育種目標 根據遺傳學理，從兩個都帶著隱性性狀親本的雜交後代，不可能分離出具有顯性性狀的個體，因此當目標性狀屬顯性時，親本之一應具有這顯性性狀。當目標性狀屬隱性時，雖然雙親都不表現該性狀，但只要有一親是異質的，後代仍有可能分離出所需的隱性性狀。為了事先確認，通常是先行自交，從後代之中確認該性狀分離表現出來。再選擇表現同質隱性性狀個體，做為下一輪的雜交親本。

(5) 以一般組合力高的親本配組 一般組合力是一個親本與其他品種雜交的全部組合平均表現。一般組合力的高低取決於數量遺傳的基因累加效應。基因累加效應控制的性狀，在雜交後代中可出現超親變異，經過選擇可以穩定成定型的優良品種。選擇一般組合力高的親本配組，有可能育成超親的定型品種。一般組合力的高低，不能根據親本自身的表現估測，只能根據雜交後代的表現來判斷。

白菜的性狀很多，遺傳機制十分複雜，許多遺傳變異的規律還不明白。下列一些白菜的性狀遺傳（表 3.）可供雜交親本選配的參考。

（二）雜交的方式

1. 單交（ Single cross ）

參與雜交的親本只有兩個，又稱成對雜交。如果甲與乙兩個親本雜交，而以甲×乙表示，則寫在左邊的甲是母本，寫在右邊的乙是父本。同樣是這一對親本，如果以乙為母本，甲為父本，就以乙×甲表示，這一組合方式是甲×乙的反交，甲×乙就是正交。在細胞質不參與遺傳的情況下，正交與反交雜種後代的性狀一致。如果細胞質參與遺傳，則雜種的性狀傾向於母本。實務上，通常用花期較晚，優良性狀較多或地方品種做為母本；栽培品種與野生種雜交時，多以栽培種為母本。

單交的方法簡便，雜種的變異較易控制，是雜交育種工作中常用的雜交方式。

表 3. 白菜園藝性狀的遺傳

種類	親代	雜種第一代
大白菜	葉片有毛 x 無毛	有毛
	葉片多毛 x 少毛	中間偏多毛
	葉色深綠 x 淡綠	中間略偏深綠
	綠邦 x 白邦	中間偏母本
	包心 x 舒心	包心
	包心 x 擰心	多數包心，少數擰心
	舒心 x 擰心	舒心或擰心
	高球 x 矮球	中間型
	散葉 x 半結球、花心、擰、褶、疊抱	散葉
	半結球 x 花心 、擰 、褶 、疊抱	半結球
	花心 x 、擰抱、褶抱	花心
	疊抱 x 花心、擰、褶抱	疊抱
	褶抱 x 擰抱	褶抱
	抗病 x 不抗病	中間型
	早熟 x 晚熟	中間偏早熟
小白菜	青梗 x 白梗	青梗（色淡）
	扁梗 x 圓梗	圓梗（高平些）
	長梗 x 短梗	中間型偏長
	花葉 x 板葉	花葉
	大葉系 x 小葉系	中間偏大
	葉數型 x 葉重型	中間偏葉數型
	葉色深綠 x 淡綠	中間型
	直立 x 束腰	中間偏束腰
	早抽苔 x 晚抽苔	中間型

2. 回交（ Backcross ）

雜交第一代及其後續世代與其親本之一再行雜交稱為回交。應用多次回交的方法育成新品種（系）稱為回交育種（ backcross breeding ）。參與回交的親本為輪迴親本（ recurrent parent ），只參與起初一次雜交的親本為非輪迴親本（ nonrecurrent parent ）或稱為供體（donor）。一次回交的雜種為 BC_1 或 BC_1F_1 ，兩次回交的雜種為 BC_2 或 BC_2F_1，一次回交雜種的自交或株間交配的子代為 BC_1F_2 ，依此類推。

回交的目的在於加強後代雜種的輪迴親本性狀，甚至恢復輪迴親本原來的全部優良性狀，並保留非輪迴親本被轉移的優良性狀。所以回交育種的作用，只是改良輪迴親本的少數性狀，是常規雜交育種的一種輔助手段。

3. 多系雜交（Multiple cross）

參與雜交的親本有三個或三個以上，又稱複交或複合雜交。依照第三個以上親本參加雜交的次序，又可以分為添加雜交與合成雜交。

(1) 添加雜交（Additive cross）

以單交產生的雜種或從其後代選出綜合雙親優良性狀的個體，再與第三個親本雜交，從而產生的雜種還可再與追加的親本雜交，每雜交一次就添入一個親本性狀。添加的親本越多，雜種綜合的優良性狀越多，但育種的年限也因而延長，所以採行添加雜交時，親本不宜太多。

添加雜交的各親本參與交配的先後次序安排，決定各親本在雜種中核遺傳組成的比例。四親添加雜交時，最後一次參與雜交的第四親本，佔雜種核遺傳組成的 1/2 ，第三親本佔 1/4 ，而第一、二親本則各佔 1/8。如果育種目標性狀的遺傳力有高低差別，為預防遺傳力低的性狀在添加雜交的過程被削減，遺傳力高的性狀應先行親本配組，再將遺傳力低的性狀追加親本配組。

如果親本的優良性狀屬隱性遺傳，在 F_1 的後代不能表現而無從確認選擇，應將 F_1 自交，從分離的 F_2 選出綜合親本優良性狀的單株，再與第三親本雜交。

(2) 合成雜交（Synthetic cross）

合成雜交與添加雜交的不同之處在於每次雜交不只添加一個親本，而是成倍數添加親本。例如，四個親本先成對配成兩個單交雜種，再進行兩個單交雜種的雜交，從而產生的四親合成雜種可再與追加的雜種雜交，進而產生八親合成雜種，依此類推。合成雜交的各親本機會均等，在雜種中核遺傳組成的比例，不受參與交配的先後次序影響，四親合成雜交時各親本的核遺傳組成各佔 1/4 ，而八親合成雜交時則各佔 1/8 。合成雜交與添加雜交相比，可以在短期內綜合多數親本的優良性狀。如果目標性狀屬隱性，也應使單交雜種自交，從分離的 F_2 選出綜合優良性狀的單株進行不同單交種（F_2）間的雜交。

多系雜交與單交相比，最大的優點是將分散於多數親本上的優良性狀綜合集於雜種一身，大為豐富雜種的遺傳性，有可能育成綜合性狀優良、適應性廣、多種用途的優良品種。多系雜種後代變異幅度大，

所以雜種後代要培育大族群，F_1應超過500株，以增加出現全面綜合多數親本優良性狀單株的機會。

（三）雜種後代的處理

從雜交所得的雜種，只是基因重組的育種原始材料，提供綜合優良性狀於同一個體的可能性。優良基因型能否出現和被保留下來，並被純化為優良品種，還得取決於對雜種後代的培育與選擇，以及一系列的試驗鑑定（如品種比較試驗、區域試驗、生產試驗等）。

1. 系譜法（Pedigree method）

系譜法是最常用雜種後代的選擇方法。異花授粉蔬菜的雜種後代進行系譜選擇時需分株套袋防止因雜交而達不到系譜選擇的效果，還要施行人工自交，才能得到F_2及其以後世代的種子。

(1) 雜種第一代（F_1） 分別依照雜交組合種植，兩旁種植父本和母本，據以鑑別假雜種與累積F_1遺傳變異的資料。每一組合種植二十株。自花授粉蔬菜品種間雜交的F_1及異花授粉蔬菜自交系間雜交的F_1都表現一致，只根據組合表現淘汰很不合理想的組合。當選組合內通常不進行株選，只淘汰假雜種與顯著不良的單株，其餘的植株依組合混合採種。由於屬隱性的優良性狀與各種基因的重組類型在F_1還不能表現，所以對組合的選擇不能太嚴。多系雜交的F_1，有異花授粉蔬菜品種間雜交的F_1，如同自花授粉蔬菜單交的F_2，不只種植的株數要多，而且從F_1開始在優良組合內就進行單株選擇。

(2) 雜種第二代（F_2） 分別依照組合種植，並適當種植對照品種，據以選擇優良單株。每一組合的F_2族群種植500-1000株，甚至更多，應視育種目標性狀的遺傳背景而定。對F_2先行組合間比較，淘汰主要性狀平均值較低，又沒有突出優良單株的組合。從當選的優良組合中選擇優良單株。雖然F_2的選擇要審慎，選擇標準也不宜太嚴，以免漏失優良基因。因顯性效應與環境條件的影響，不宜針對數量性狀，特別是遺傳力低的性狀（如產量、營養成份含量等）進行選擇，所以F_2主要根據質量性狀與遺傳力高的性狀（如植株生長習性、產品器官的形態色澤、成熟期相對早晚等）進行單株選擇。

(3) 雜種第三代（F_3） F_2當選優良單株各別採收的種子分別種植一個小區。每一小區，即每一單株後代成為一個系統，種植40株。每隔5至10個系統設一對照小區。F_3開始對產量等遺傳力低的數量遺傳性狀進行系統間比較選擇，先就主要經濟性狀與一致性選擇優良系統，再針對當選系統仍在分離的性狀選擇單株。多選系統，而每一系統當選的株數可以少些（6至10株），以防優

良系統漏失。F_3與後繼世代的培育選擇要務，在於繼續進行系統間與單株間的比較鑑定，迅速選出具有綜合優良性狀的穩定純育系統（pure breeding line）。

(4) 雜種第四代（F_4） 來自F_3同一系統的F_4系統為一系統群（sib group）同一系統群內各系統為姐妹系（sib line）。不同系統群的差異往往比同一系統內姐妹系的差異較大，各姐妹系的綜合性狀往往表現相近。因此在F_4世代，應先比較系統群優劣，從優良系統群中選擇優良系統，再從優良系統中選擇優良單株。F_4的每小區種植 40 株，二重覆，以便更準確的比較產量、品質、抗病性等性狀。F_4開始出現穩定的系統。優良的系統去劣混合採種，升級鑑定；優良穩定的系統群中各姐妹系如表現一致，可依系統群去劣混合採種，升級鑑定。這樣選得的品種，比單一株系選得的品種的遺傳基礎廣泛，對異花授粉蔬菜還可防止生活力衰退，有可能獲得較高的產量與較廣的適應性。

(5) 雜種第五代（F_5）及其以後世代 種植方式與選擇方法大致與F_4相似，只是小區面積適度增大，儘量應用可靠的方法鑑定性狀。F_5之多數系統已穩定，主要進行系統的比較與選擇。隨著雜種世代推進，優良系統越來越集中於少數優良系統群，而不再呈現分散狀態。從F_5以後，通常以系統群為單位進行比較與選擇，先選出優良系統混合採種，升級鑑定。如果在F_4或F_5發現傑出的優良系統，可在繼續進行的比較同時，分一部分種子進行品種比較試驗，以加速新品種育成。如果F_5還不穩定，則需要繼續單株選擇，直到選出整齊一致的系統為止。

由於白菜是會近交衰退的異花授粉蔬菜，過度要求純化，不但會延長育種年限，而且還會導致族群的遺傳基礎貧乏，往往使得生活力與適應性降低。因此，一旦選到主要性狀整齊一致的優良系統，就得停止單株選擇，而就系統或系統群混合採種成為優良品系。優良系統品比試驗、區域試驗、生產試驗等品種試驗程序，肯定後即可成為新品種推廣應用。

為了加速系統純化，並防止生活力衰退，白菜除採行連續二至三代單株自交，再行同一系統內株間交配或相似的姐妹系交配外，還可採取母系選種法。

2. 混合法（Bulk method）

混合法適用於行株距小的自花授粉蔬菜<多系雜種與異花授粉蔬菜，往往得到非育種目標的意外優良重組類型。從F_1開始分組混合種植，直到F_4或F_5。F_2及以後世代族群，應有四至五千株，甚至更多。在F_4或F_5以前，有時完全不加選擇，但通常在各世代中針對

質量性狀和遺傳力高的性狀進行混合選擇。到 F_4 或 F_5 進行一次單株選擇，當選的株數多達數百株，盡可能包括各種類型。F_5 或 F_6 以株系種植，二重複。每一株系的株數較少，約 10 至 20 株。嚴格選擇少數（約 5%）優良株系，升級鑑定。

自花授粉蔬菜的雜交後代，經過幾代放任授粉混合採種繁殖後，族群內大多數個體的基因型已近於完全同質結合。異花授粉蔬菜的雜交後代，經過幾代隔離混合採種繁殖後，族群內大多數個體的基因型也已得到充分的重組機會。在分離世代保持較大的族群，就為提供各種基因型重組出現的機會。混合法的優點：（1）由於分離世代的族群大，直到 F4 或 F5 才進行一次單株選擇，不會漏失最優良的基因型，又可只經一次單株選擇，就得到穩定的系統；（2）選擇效果有時不輸系譜法；（3）方法簡單易行；（4）大族群處於自然選擇下，容易獲得有利性狀的改良；（5）對分離世代長，分離幅度大的多系雜種的選擇效果較好。缺點：（1）不同基因型個體的繁殖率與後代成活率不盡相同，經過幾代混合種植後，族群內各重組基因型的頻率不盡均等，對當時當地自然條件與栽培條件適應性強的基因型所佔的比例必然變大，因此人工選擇目標與自然選擇目標不一致的性狀，就有在混合種植過程中漏失的可能；（2）未加選擇經歷分離世代，族群後代中存在諸多不良類型；（3）雜種種植的族群大，選擇世代要選的株數多，下代的系統數多，試驗規模大，如果規模縮小，就會漏失優良基因；（4）無法考察當選系統的歷史與親緣關係，缺乏歷史資料與親族佐證，因而系統的取捨比系譜法較難。

3. 單子後裔法（Single seed descent）

單子後裔法是混合選擇法的一種衍生選擇方法，較適用於自花授粉蔬菜。F_2 種植 200-500 株，從 F_2 開始，每代從每一單株上取一粒種子播種下培育一代。每代不進行選擇，繁殖到遺傳性穩定不再分離的世代為止，大約至 F_4-F_5 代，再將每個單株種子分別採收。異花授粉蔬菜還需要施行人工自交，才能得到 F_2 及其以後世代的種子。下代分別播種成 200-500 個株系，進行株系間比較鑑定，一次選出符合選育目標的整齊一致品系。

單子後裔法與混合法相比的優點：（1）約束 F_3 至 F_5 代（F_2 至 F_4 進行單子後裔傳代時）各代族群大小不超過 F_2，而且族群不大，適合行株距大的作物與在設施內加代。（2）保證每一 F_2 個體都有均等繁殖後代的機會，F_2 有多少單株，F_5 仍有那麼多單株形成 F_6 株系。

單子後裔法與系譜法相比的優點：（1）減省三至四代分系種植與選擇的工作量。（2）當 F_2 至 F_3 的族群較大，而且 F_5 選留的單株又

多時，F_6可以同時有大量差異性大的純育株系供比較選擇。缺點：（1）當目標性狀是由多對基因控制，而F_2的族群又不夠大時，育種目標所期望的重組基因型可能不出現。雖這些未出現的基因型仍然可能從已具有的異質結合体之後代重組出來，但是因為每個F_2只限繁殖一個後代，所以很可能漏失。不如系譜法，對F_2就進行選擇，使得較有希望在後代分離出理想基因型的優良個體，能夠繁殖較多後代而提高理想基因型出現的頻率。（2）對F_5至F_6各株系的歷史與親緣關係無法考察，缺乏歷代表現與親族佐證，因而對株系取捨的判斷較為困難。F_2族群分離很大時，宜用系譜法，而分離小時，則可行單子後裔法。

品種性狀形成與培育條件的關係密切，雜種後代的性狀形成並非由於雜種後代能同化培育條件，而是在適當的培育條件下，雜種的性狀得以充份表現，從而提高人工選擇的可靠性。除人工選擇外，雜交後代的選育過程中，如光照、溫度、濕度、病蟲害等生態因子也發揮相當大的自然選擇作用。通過自然選擇的考驗，而提高品種的適應性。

為了提高選擇效果，不同組合、系統的雜種後代應在一致條件下培育，將環境條件的影響降到最低限度，使遺傳性的差異充分顯現。因此要求試驗田地力均勻，一天內完成播種、定植工作（至少完成一整個重複），施肥、灌溉、排水、中耕、除草、病蟲害防治等措施應力求一致。

四、一代交配育種（F_1 hybrid breeding）

白菜的雜種優勢（hybrid vigor）很顯著。因為一代交配雜種（F_1 hybrid）有增產顯著、抗逆性強與整齊度高等優點，所以一代交配育種日益受到重視。近年來，由於育種技術的研究發展，改善自交不親和性、雄不育性與遲配性在雜交採種上的應用，而加快白菜一代交配雜種優勢利用的進度，使得雜交種越來越多而漸漸取得主流地位。

（一）親本的選配

一代交配親本的選擇與傳統雜交育種的親本選擇相似，但親本選配則有所不同。傳統雜交育種可經由雜種後代的分離與重組選取所需要的類型，而一代交配雜種的親本組合優勢直接決定F_1的表現。因此，選配一代交配親本時，應更重視構成綜合性狀的各目標性狀之間的互補。使親本的優良性狀在F_1充份表現出來。親本的選配應從品種開始，再從選定的親本品種內選育自交系，因而縮小自交系的選育範圍，減少後續工作量。應先行組合力檢定，選擇特殊組合力較高的品種做為培養自交系的原始材料。中國陝西省蔬菜所（1975）的試驗証明，自交系的組合力與其來源親本品種的組合力趨勢一致，可見組合力的早期檢定十分必要。

（二）自交系的選育

自交系的培育過程就是對選定做為親本的品種連續自交與選擇的過程。採取系譜法，經四至六代的自交選擇，就可獲得主要性狀不再分離，生活力不再明顯衰退的高度同質結合的自交系。以後，就以各自交系為單位採取混合選擇法繁殖留種。可採取輪迴選種法使親本材料的優良基因集中於自交系，以提高自交系的品質。又可採用花粉（花藥）培養法，培養單倍體植株，再使單倍體加倍，而得到純結合二倍體，以加速自交系的選育進度。還可採取萌動種子低溫春化，長日誘導開花的方法，配合在設施內或送到異地加代繁殖，以縮短世代時間，加快育種進程。

（三）組合力的檢定

雜種優勢主要經由等位基因間的顯性效應與非等位基因間的相互作用效應所成就。雜交組合優勢的強弱，主要取決於特殊組合力，因此，自交系育成以後，要對自交系的特殊組合力進行檢定。以自交不親和系或雄不育系做母本配組雜交種時，組合力檢定採取格子方配法；以自交親和遲配系配組，則可採用輪配法。白菜雜交種的配組方式大多採取單交種，三交種與雙雜交種較少見。

（四）雜交種子生產

把兩個親本自交系隔行種植於隔離區，利用異花授粉的習性可產生白菜雜交種子。雜交種子生產大多利用自交不親和性。近年中國大陸在自交遲配性與雄不育性應用於雜交種子的生產技術，有突破性的發展。自交不親和性的遺傳機制，可參考治田辰夫 (1962)，亞蔬中心 (1988) 和沈再發 (1990)。至於雄不育性則可參考沈再發 (1990)，馮輝、魏毓堂 (1996)。

1. 自交不親和系×白菜普遍存在自交不親和性。經過連續自交選擇，可育成穩定遺傳的自交不親和系。利用（自交不親和系×自交系）的配組方法，將母本自交不親和系與父本自交系隔行種植於隔離區，從母本自交不親和系採收的種子就是雜交種。父本自交系，如果也是自交不親和系或是自交遲配系，就可以採收雜交種；如果是沒有自交遲配性的自交親和系，則採收的種子雜交率低，不可以做為雜交種出售。
2. 自交遲配系　自交慢於異交受精而導致異花授粉的現象，稱為自交遲配性。遲配性強則異交率高。品系間的遲配性不同，造成不同品系間異交率的差別。利用遲配性生產雜交種子時，必先測試雜種的雜交率。如果雜交親本帶有明顯的苗期標識性狀，則便於在苗期汰除假雜種，而提升雜交種的實用性。最適合做標識性狀的是葉毛：有毛對無毛呈顯性。以無毛自交系做母本，有毛做父本配組雜交，則 F_1 雜交種株有毛，而母本自交株無毛。

3. 單基因雄不育系 由一對細胞核基因所控制的雄不育性，不論是顯性或隱性，都只能獲得不育株率穩定在 50%左右的雄不育「兩用系」。以「兩用系」做母本配組雜交種時，需在開花授粉前拔除可育株。因此，「兩用系」栽植密度應提高一倍。「兩用系」與父本自交系依照行比 4:1 種植於隔離區，初花期切實拔除將「兩用系」的可育株，從不育株採收的種子就是雜交種。
4. 複基因雄不育系 由一個基因座的三個複等位基因或兩對基因相互作用所控制的雄不育性，都可獲得具有 100%不育株率的雄不育系。以複基因雄不育系配組雜交種，只要將雄不育系與父本自交系依照行比 4:1 種植於隔離區，從雄不育系採收的種子就是雜交種。

五、其他育種途徑

（一）遠緣雜交育種

遠緣雜交是白菜創造變異的手段之一。日本園藝試驗場的清水、金澤等人（1962）用大油菜（n=19）與白菜（松島新二號，n=10）種間雜交，導入抗病性而育成抗軟腐病的大白菜品種「平塚一號」，在日本已廣泛用做抗軟腐病的育種材料。西貞夫（1980）用白菜與甘藍（n=9）種間雜交，藉助於胚培養（embryo culture），選育成功的人工合成複合種「白藍（Hakuran）」（n=19），從六十年代開始，在日本西部推廣上市，葉球品味有如結球萵苣一般柔嫩多汁，供應鮮食與醃漬加工都適用。白藍菜高抗軟腐病與其他細菌性病害，又很耐熱抗旱，所以很容易栽培。因此，白藍菜也成為白菜抗逆性與抗病性育種的珍貴材料。生井、細田（1976）以蕪菁（n=10）與球莖甘藍（n=9）種間雜交，人工合成耐寒豐產的蕪菁甘藍（Rutabaga）。日本的時田種子公司以甘藍與小松菜（n=10）種間雜交，胚培養 F_1（2n=19），再用秋水仙素（colchicine）處理 F_1 植株之生長點，使其染色体加倍成為同質配對（2n=38），因而恢復稔性，經過系統比較篩選，選系組合成一代交配雜種千寶菜一號與二號。千寶菜抗軟腐病，耐熱又耐寒，帶有甘藍的甜味，並且含大量維生素，台灣已有引進當做有機蔬菜栽培。

（二）誘變育種

白菜用 0.2-0.4%的秋水仙素處理生長點，不難誘生多倍体。誘變所得的多倍体（大多是同源四倍体），雖然生殖器官顯著增大，表現出一般誘發多倍体的肥大性，但是營養器官，尤其是產品器官，葉球並不增大，而且往往植株生長緩慢，結球性差，以致直接利用價值不大。王子欣（1993）以秋水仙素處理誘發產生的四倍体大白菜做母本與二倍体大白菜雜交，獲得新的同源四倍体。新四倍体比原生誘變的四倍体顯著改善經濟性狀。新四倍体是二倍体未減數配子（2n 配子）與四倍体正常的 2n 配子受精結合的產物。這種方法可能成為改良人工誘發四倍体的一條有希望途徑。

鹿英杰、李光池（1944）應用鈷60的迦瑪射線，輻射誘變，育成龍輻二牛心大白菜新品種。經誘變處理過的材料，再經過連續篩選而育成的優良品種，其變異部份究竟有多少是來自誘變，尚待查証。

（三）細胞融合與基因轉移育種

現代生物技術已經發展成為改良農作物的重要方法。由於白菜遺傳資源的變異性很大，大致上變異幅度與範圍可以滿足傳統品種改良方法對變異量的要求。現代生物技術應針對傳統創造變異方法無法解決的問題。例如細胞融合技術可用於轉育遠緣材料的不育細胞質（非對稱融合），培育新的胞質型或核質互作型雄不育系，因為白菜未曾發現不育細胞質。基因轉移技術可用於將抗虫基因轉移到白菜，因為白菜未曾出現較為抗虫的材料。以細胞工程與基因工程為主体的現代生物技術，將來在白菜抗逆性育種上，很有發揮的空間。

育種成就

白菜是日常生活最常見的菜蔬。早在1624年，荷蘭東印度公司在台南建築熱遮蘭城，積極經營南台灣，招募中國沿海漢人移民開墾拓植。隨著先民渡海來台，小白菜應早就已引進栽培。由於小白菜的低溫需求不多，很容易開花留種，所以很快就本土化而成為俗稱的土白菜。1661年，鄭成功驅逐荷蘭人，率領大批軍民據守台灣，從事屯田，生聚教練，隨從大多是來自閩南的漳泉人氏，漳浦白菜可能也同步跟進。河洛人（黃河、洛水人氏）為了躲避中原戰亂，大舉南遷到閩南地區定居，隨身攜帶發源於原鄉河南的平頭型大白菜，經歷許多世代馴化而成為比較耐熱早生的漳浦白菜。台灣的亞熱帶氣候條件，很不適合原產於溫帶的大白菜生長發育，更不容易開花留種，所以一直停滯於引種階段，年年依賴外地生產供應的種子。直到1937年發生蘆溝橋事變，中日戰爭全面開打，當時被日本管轄的台灣與中國大陸之間的航運不暢，導致蔬菜種子貨源不繼，農民才不得不設法自己留種。後來有人賣種子嚐到甜頭，才逐漸興起互相學習留種技術而蔚成風氣，開啟品種改良的契機。到1941年日本偷襲珍珠港，引爆太平洋戰爭，海上交通更加艱險。隨著戰爭局勢逆轉，終於連台灣與日本間的航運也幾乎斷絕。因而，蔬菜種子進口的來源完全被封鎖。為了勉力供應軍隊需求，日本軍國統制物資供銷，早已大肆搜購的軍需用品名單，蔬菜種子也赫然在列，使得蔬菜種子供銷更是雪上加霜。隨著戰局逆轉惡化，絕大部份軍需品都在運輸途中，隨船沉到太平洋底，導致蔬菜種子更加嚴重缺貨，因而台灣的採種事業更加興盛。甚至連日本的瀧井種苗公司也到屏東設立熱帶蔬菜研究農場，以針對南進政策帶來的龐大商機搶分大餅。大戰前後，隨著採種技術的進步，通過選種經驗的累積，漳浦白菜逐漸本地化而演化成早、中、晚生品種，順應各地不同季節的需要。

1945 年大戰結束，百廢待舉。不久戰亂又起，1949 年國民政府從中國大陸倉惶出走到台灣。台灣與中國之間的航運，在大戰結束後短暫復航，很快就隨著戰亂再起而中斷，斷的更絕。共產黨佔據中國之後，東南亞的共產勢力日益猖獗，引起各國政府的疑懼。到 1956 年泰國與馬來西亞聯手剿共，因而與中國的共產政權交惡，終至斷絕往來。於是原本到廣東、閩南採購種子的訂單湧到台灣，雲嘉南地區取代了汕頭與廈門的生產基地，蓬勃發展成為新的十字花科蔬菜採種中心。這段期間引進很多新蔬菜，其中屬於白菜類的就有天津白菜、汕頭白菜、青梗白菜、扁合白菜、葵扇白菜、烏塌菜、油菜心、紅苔菜與蕪菁等。後來青梗白菜與油菜心更成為台灣的重要蔬菜。

1956 年迅速興起的十字花蔬菜採種事業，蓬勃發展了二十年，品種改良隨著採種事業的帶動而起飛。前十年選育出很多優秀的固定品種，同時藉著引進甘藍與白菜的一代交配種，而將一代雜種的優點展現給國人認識，漸漸深入人心。後來終於慢慢的開花結果，陸續育成本土的一代交配品種，漸漸步入一代雜種優勢主導的時代。

一、 大白菜

漳浦白菜原產於閩南漳浦縣，很早就隨鄭成功的人馬渡海東來，但因不易開花留種，而持續仰賴中國大陸生產的種子，直到 1937 年中日戰爭以後，貨源短缺才漸漸有人設法留種。原來的漳浦白菜都從福建的廈門與廣東的汕頭進口，大致是中生 60 天品種，但很不整齊，收穫期往往從定植後 45 天開園採收拖到 70 天以上，結球率只 60 %左右。 最終不能包心的菜公仔，也能採到市場賤賣，俗稱烏肉雞。到四〇年代台南的喜樹與彰化的溪湖已經分別選育成漳浦早生 35 天白菜(表 4.），結球率約 80%，具有耐熱、早生、質優的優良特性。 定植後的生育期先提早到 35 天，後來更逐漸改良超前到 30 天。日本的阪田種苗公司應用漳浦早生白菜×山東白菜育成的系列中間型白菜，具有半耐熱性而且適應性廣的優點。其中濱綠白菜從 1960 年開始風靡台灣歷時三十年，而夏陽白菜則在泰國與南中國廣受歡迎。從漳浦白菜分離出來的品種，還有王金讚在四〇年代就育成的路竹赤葉極早生 28 天白菜；鄭奇 1958 年育成的五爪甲 35 天白菜； 1964 年王金讚與郭水祿聯手育成的大葉烏 40 天白菜；林福元則在 1967 年選出大寒晚生 45 天白菜。皇京白菜於 1959 年由台灣農產種苗公司接受港商訂單，交給台南市的復建寅號負責，透過鄭奇募集台南喜樹地區的農民，開始在台灣委託採種，外銷到泰國。 郭水祿從皇京白菜採種的後代族群中，發現與鳳山白菜自然雜交的變異株，經過六年朝結球方向選擇， 1965 年得到的新種半結球白菜，比皇京白菜高大豐產，質地脆嫩，從小苗到緊包的成株都可採收上市，葉色清淡翠綠，葉片細緻縐縮，有如當時新發明上市稍微透明的尼龍布料，所以市場上就以新奇的〝尼龍白菜〞打出知名度。山東白菜在日本是很重要的日常菜蔬，在日本人治理台灣的時期大力引種，以應殖民之需。從日本引進的山東白菜只能在秋冬季栽培，早期的固定品種有野崎白菜與京都 3 號等。光復後，日本率先育成一代交配品種，很快就傳到台灣來試種，

先後引進理想、無雙、金將、霸王、錦秋等 F_1 品種。1958 年農生種子行的蔡文卿率先引進渡邊採種場育成的一種（漳浦早生白菜×山東白菜）中間型的 F_1 白菜，因其台日純系的交配組合像似鄭成功的中日混血 而命名為成功白菜。成功白菜兼具母本耐熱與父本耐寒的體質，對冷熱的適應性很廣，在台灣秋作可以從晚夏（八月中旬）播種到孟秋（十月下旬）；春作從冬末（二月中旬）播種到早春（三月中旬），迅速的在耐熱的漳浦早生白菜與耐寒的山東白菜之中間地帶打出一片天地，冷涼與溫熱兩頭通吃，風行一時。兩年之後，捷發種子行的許捷三發現坂田種苗公司育成的中間型類似品種，濱綠白菜，比成功白菜更耐熱、適應性更廣，而且園藝性狀較近似漳浦白菜。隨即透過茂生公司取得代理經銷權，而緊跟在成功白菜後面大力推廣，漸漸取代成功白菜，而成為台灣推廣大白菜之領導品種，歷經二十年後才漸漸消退。先被 1980 年陳文江育成武藏野公司生產的中間型文武白菜部份取代，後來又被 1989 年蔡江河與蔡慶倉父子聯手育成的慶農 400 號取代大部份。濱綠白菜之後，另一個比較耐寒的優質中間品種，瀧井種苗公司育成的新秋白菜，1966 年引進，逐漸取代晚生品種山東白菜的冬作栽培。1978 年施銀行育成的元寶二號比新秋白菜高產，但只風行兩年就因易感染軟腐病而迅速沒落。1987 年以後，進口的晚生白菜漸漸被慶農百號白菜所取代。

夏季結球白菜原是漳浦早生與五爪甲 35 天白菜的天下。施銀行利用漳浦早生×漳浦早生白菜做父母本，到 1972 年育成台南早生 35 天白菜，是台灣第一個本土化的一代交配結球白菜品種，整齊度與產量比傳統的固定品種大幅提升，深受各地農民與菜販的歡迎，種子常常供不應求。1975 年陳文江以楠梓黑葉一、二、三號白菜等三個組合跟進。楠梓黑葉二號比台南早生白菜耐雨，1978 年農生種子公司開始以夏光四號的名號，行銷各地，享譽全台。1979 年以後漸漸取代台南早生白菜。1982 年施正廷育成大暑白菜，二年後取代了容易黑心的夏光四號。1986 年，蔡易新育成雙喜白菜，又取代了較不耐雨的大暑白菜。1990 年慶農二百號推出，以端正的圓球，又更早生而漸漸取代雙喜白菜。農友種苗公司的 288 白菜，黑葉圓球又比較高產，曾經在雙喜白菜與太祖白菜之間，佔有一席之地，1991 年以後也漸漸被慶農 801 白菜所取代。

中華種子公司 1976 年育成的三雜交中華三號與 1977 年的雙雜交中華四號都以漳浦早生 x 皇京白菜，耐熱、早生、品質優越，又比漳浦早生交配的台南早生、夏光四號大球豐產，曾經試圖在台灣推出行銷，但以球形介於漳浦圓球與皇京尖球之中間型，不被消費市場認同，後來只好全部外銷。雙雜交的一個皇京白菜親本自交系，是利用蘿蔔花粉遠緣雜交的偽受精達到直接固定的效果，而且還有自交親和遲配性的特質。1980 年農生種苗公司賣出的新龍 S 白菜產量高出漳浦早生交配種約 40-50%，但因縐葉生毛，球形也不被消費者認同，只風行兩年就迅速沒落。1982 年命名的亞蔬一號也遭遇相同命運。1989 年命名的桃園亞蔬二號園藝性狀已改進比較近似漳浦白菜，受到北台灣消費者歡迎，但採種一波三折，沒得

表 4. 台灣之大白菜品種改良成績單

品 種	育成年代	方 法	種 源	機 構	成 就 者
漳浦白菜	鄭治	引種	中國 OP	民間	
山東白菜	清治、日治	引種	中國、日本	民間、農事試驗場	
天津白菜	光復後	引種	中國 OP	民間	
汕頭白菜	1959	引種	泰國 OP	台灣農產種苗公司	廖學義
漳浦早生 30 天	四 O 年代	集團選種	漳浦白菜		魏銓
路竹赤葉 28 天	四 O 年代	集團選種	漳浦白菜		王金讚
五爪甲 35 天	1958	集團選種	漳浦白菜	鄭奇種子行	鄭奇
大葉烏 40 天	1964	集團選種	漳浦白菜		王金讚、郭水祿
大寒種 45 天	1967	集團選種	漳浦白菜		林福元
皇京白菜	1959	引種	汕頭白菜	台灣農產種苗公司	廖學義
尼龍白菜	1965	自然雜交	皇京 x 土白菜		郭水祿
野崎白菜	日治	引種	日本 OP	農業試驗場	
京都三號	日治	引種	日本 OP	農業試驗場	
理想白菜	五〇年代	引種	日本 F_1		
成功白菜	1958	引種	日本 F_1	農生種子行	蔡文卿
濱綠白菜	1960	引種	日本 F_1	捷發種子行	許捷三
濱光白菜	1960	引種	日本 F_1	捷發種子行	許捷三
新秋白菜	1966	引種	日本 F_1	台灣農產種苗公司	廖學義
錦秋白菜	七〇年代	引種	日本 F_1	周瑞和種苗公司	周瑞卿
台南早生	1972	一代交配	漳浦早生		施銀行
元寶二號	1978	一代交配	漳浦早生 x 新梗		施銀行
大暑四號	1982	一代交配	漳浦早生 x 雜交		施正廷
太祖白菜	1984	一代交配	漳浦早生 x 中生		施正廷
楠梓黑葉二號	1975	一代交配	漳浦早生		陳文江
楠梓文武白菜	1980	一代交配	漳浦早生 x 山東		陳文江
楠梓晚生 45 號	1993	一代交配			陳盈彰
中華三號	1976	一代三交	漳浦 x 皇京	中華種子公司	張連宗
中華四號	1977	一代雙交	漳浦 x 皇京	中華種子公司	張連宗
夏光四號	1978	一代交配	楠梓黑葉二號	農生種子公司	
新龍 S	1980	一代交配	雜交系 x 雜交系	農生種子公司	
雙喜白菜	1986	一代交配	漳浦早生 x 雜交	農生種子公司	蔡易新
抗病二號	1982	一代交配	漳浦早生 x 雜交	農泰種子公司	鄭興陸
亞蔬一號	1982	一代交配	雜交系 x 雜交系	亞蔬中心	R.T.Opena、羅三
桃園亞蔬二號	1989	一代交配	漳浦早生 x 雜交	亞蔬中心	J.Y.Yoon、張連宗
夏寶	1986	一代交配		生生種苗公司	
288	1988	一代交配		農友種苗公司	
百號	1987	一代交配	漳浦早生 x 大寒	慶農種苗公司	蔡江河、蔡慶倉
四百號	1989	一代交配	漳浦早生 x 大寒	慶農種苗公司	蔡江河、蔡慶倉
二百號	1990	一代交配	漳浦早生 x 雜交	慶農種苗公司	蔡江河、蔡慶倉
強百號	1993	一代交配		慶農種苗公司	蔡江河、蔡慶倉
慢百號	1994	一代交配		慶農種苗公司	蔡江河、蔡慶倉
601	1994	一代交配		慶農種苗公司	蔡江河、蔡慶倉
701	1994	一代交配		慶農種苗公司	蔡江河、蔡慶倉
801	1991	一代交配	漳浦早生	慶農種苗公司	蔡江河、蔡慶倉
302	1988	一代交配		美久種苗公司	羅三和
702B	1992	一代交配	漳浦早生 x 雜交	美久種苗公司	羅三和
瑞星	1990	一代交配	漳浦早生 x 雜交	欣樺種苗公司	施耀宗、施辰東
瑞芳	1990	一代交配	漳浦早生 x 雜交	欣樺種苗公司	施耀宗、施辰東
瑞秀	1991	一代交配		欣樺種苗公司	施耀宗、施辰東
12	1986	一代交配		鄭奇種苗公司	鄭敬忠、鄭啟輝
130	1993	一代交配		鄭奇種苗公司	鄭敬忠、鄭啟輝
336	1994	一代交配	漳浦早生 x 晚生	鄭奇種苗公司	鄭敬忠、鄭啟輝
490	1991	一代交配	皇京白菜	鄭奇種苗公司	鄭敬忠、鄭啟輝
17 黑龍白菜	1995	一代交配	漳浦 x 皇京	鄭奇種苗公司	鄭敬忠、鄭啟輝

順利推廣。1993 年種苗改進協會舉辦大白菜品種比賽，冠軍瑞星白菜與亞軍美久 702B 白菜也都因為球形較長，而無法與慶農種苗公司的系列圓形白菜抗衡。鄭奇種苗公司出品的系列白菜也都因球形問題而以外銷為主。前述多種白菜，雖然各有特色，但都因球形不夠圓，而無法打開台灣的主流市場。園藝性狀仍然是台灣白菜市場之第一考量，環境適應性（耐熱、耐雨、耐寒、抗病）與穩定豐產為次要因素。

二、小白菜

土白菜是最早隨先民渡海來台的白菜葉類蔬菜，發源於華南，低溫需求不多，很容易開花留種，自然而然馴化成為土生土長的土白菜。一直到現今，土白菜仍然是台灣最重要的夏季蔬菜。光復前後，民間選種成為葉色金黃色的黃金白菜，以及淡綠色的鳳山白菜（表 5.）。台灣農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所的陳文郁發現鳳山白菜的出眾優點，加以集團選種純化，1956 年仍以鳳山白菜的名稱，大力推廣。同時台南金鐘種子行的辛平也選育成株型較直立，葉色較青綠的新種土白菜，為求新奇致勝而以新加坡白菜的名號推出。中部地方種植的土白菜葉色較深綠，俗稱台中白菜。後來農友種苗公司推出的三鳳二號比鳳山白菜更嫩黃醒目，葉形也較圓，葉柄較狹窄肥厚，在南台灣可週年播種，不像鳳山白菜在低溫期播種會小株抽苔。日治時代，為了因應日本殖民的需求，透過農事試驗場的引種試驗，引入大阪白菜，丸葉山東菜與切葉山東菜等原產於日本之菜種，在秋冬季栽培。光復前後中斷了幾年，因土白菜在秋涼季節容易小株抽花，才再重新進口大阪白菜、丸葉山東菜與東京切葉菜等晚生小白菜。鑑於台灣所有的土白菜品種都不耐寒，秋冬季很容易抽苔，只能種植從日本進口品質較差的晚生小白菜。鄭奇種苗公司的鄭敬忠應用黃金白菜與日本進口的一條根晚生小白菜進行雜交育種，到 1979 年育成的晚生小白菜，耐寒又耐熱，適應性很廣，單一品種就能週年栽培，即使冬天最冷的季節種植，採收時只稍含花苔，風味更佳，不虞小株抽花，夏作比本產土白菜高產，冬作比進口的日本小白菜質優，因此風行全台灣，菜農以其種子較紅褐色，而暱稱為紅珍珠白菜。富農種苗公司隨後推出的夏勝黃金白菜，在 1994 年種苗改進協會主辦的小白菜類品種比賽，得到黃金白菜組的首獎，性狀類似前述的紅珍珠白菜，乃是丸葉山東菜採種自然雜交到土白菜的單株後代純育而成。鳳試分所的沈再發與許淼淼，利用鳳山白菜與皇京白菜做親本，進行雜交育種，朝不結球方向選擇，到 1985 年成功命名為台農一號，比鳳山白菜品質柔軟，風味甘甜，產量高過 40%，耐熱性強，適合夏季栽培。

青梗白菜直到 1951 年才由農試所自中國引入試種，得到市場接受歡迎，很快就成為台灣的重要蔬菜。早期流行矮腳大頭品種，由於採收後不易捆綁成束包裝，而轉向高腳品種。鄭奇種苗公司利用在來種進行一代交配育種，到 1987 年育成半青梗、矮生的#341(F_1)，具有耐熱、耐雨、豐產特性，又在 1992 年育成青梗、高腳的#313(F_1)，豐產又耐寒，兩個品種互相搭配，在台灣就可週年栽培生產。

白梗白菜流行在長江流域，五〇年代經由香港引進台灣，一直不大能夠被市場接受。扁合白菜，植株高大，株型必需直立，才能提高單位面積產量。農友種苗公司的農友二號白梗白菜屬於高腳白梗白菜型，盛產於長江流域，是典型的高腳白梗白菜，葉柄

長寬扁平。葵扇白菜又稱為黑葉奶油白菜，是典型的矮腳白梗白菜，葉片深墨綠色，平板寬圓形如葵扇，葉柄呈奶油白，甚至雪白色，非常耀眼。葵扇白菜也盛行於馬來西亞，所以有人稱為馬來白菜。

三、小油菜

先民很早就引進台灣，原本只有葉用油菜，大多在厝前厝後零星種植，光復前後才有大面積栽培，採收油菜籽，榨取菜籽油，五〇年代以後漸漸被大油菜取代，才又回復原來的葉菜角色。專採收花苔的油菜心，原是廣東特產蔬菜，直到大陸失守之後才引進台灣。因為很容易開花採種，所以很快就本土化。中國大陸開放以後，民間種子業者繼續引種馴化，近年鄭奇種苗公司選育成耐熱極早生 30 油菜心與耐寒極晚生 100 天油菜（表 5.）。農友種苗公司育成的一代交配秀珍油菜屬於菜葉與菜心兩用型，播種後 30 天至抽苔前整株採收，或等待抽苔後整株採收，也可以陸續採收花苔。鄭奇種苗公司則別出心裁，以晚生油菜與青梗白菜做親本，雜交組合成一代交配的新油菜，在 1992 年育成的極晚生#613 油白菜，兼有豐產、耐熱又耐寒的特性，在台灣可以週年栽培生產，又因帶有青梗白菜的扁甲性狀而以外銷為主。紅苔菜原產於中國，引種流行於日本，光復後才引進台灣，但一直只有零星栽培。

結　　語

白菜伴隨先民遷移到台灣，歷經數百年歲月，除了容易開花留種的土白菜與小油菜，很快就本土化而分離演化成許多在來種之外，大白菜都一直依賴進口種子，到 1937 年中日開戰以後，海上交通不暢，蔬菜種子缺貨，菜農才不得不試驗留種自用。隨著戰局吃緊，動亂不停，種子來源不繼，才興起採種風氣，以求自給自足。共產黨佔據中國大陸以後，竹幕深垂，互不通航，一九五〇年代不僅引進許多新種白菜，而且大量採種外銷到海外華人社區，品種改良隨著採種事業的蓬勃發展而起飛。從一九三〇到一九六〇年代，引種與固定品種的選育有了長足的進步。從一九五〇開始引進一代交配品種試種推廣，慢慢教化大眾接受一代交配品種的觀念，到一九六〇年代就漸漸進入 F_1 雜種優勢主導的時代。1972 年施銀行育成第一個本產 F_1 白菜，帶動本土的 F_1 育種風潮，F_1 品種不斷推陳出新，不僅漸漸取代外來品種，而且不斷擴大外銷市場。

鑑於社會型態的轉變，蔬菜栽培面積本來就逐漸縮減，加以穴盤育苗的普及，使得種子用量驟減三至五倍，還有可預見的農產品開放進口競爭，迫使菜農喪失栽培意願，將可預期種子銷量大減。競爭對手，除了日本善用現代科技與行銷技術而難以匹敵，近年中國在雄不育性與自交遲配性的採種應用技術有突破性的發展，配合其人力資源與地利條件，料將成為可敬的競爭對手。因應之道，除了加強應用已經開發成熟的組織培養技術，並善用新進發展的生物技術遺傳工程，以彌補傳統育種之不足，也應考慮摒除門戶之見，互相整合，組成具有經濟規模的聯合公司，協力改良適合外銷的品種，到國外委託採種，降低生產成本，提升國際競爭力。

表 5. 台灣的白菜品種改良成績單

作物	品種	育成年	方法	種源	機構	成就者
大白菜 (詳見另表 4)						
小白菜	土白菜	荷治	引種	中國 OP	民間	
	大阪白菜	日治	引種	日本 OP	民間	
	丸葉山東菜	日治	引種	日本 OP	民間	
	切葉山東菜	日治	引種	日本 OP	民間	
	黃金白菜	日治	集團選種	土白菜	民間	
	鳳山白菜	1943	集團選種	土白菜		謝財之胞兄
	鳳山白菜	1956	集團選種	鳳山白菜	鳳山分所	陳文郁
	新加坡白菜	1956	集團選種	土白菜	金鐘種子行	辛平
	台中白菜		集團選種	土白菜	民間	
	三鳳二號			鳳山白菜	農友種苗公司	
	晚生小白菜	1979	雜交育種	黃金白菜 x 一條根	鄭奇種苗公司	鄭敬忠
	台農一號	1985	雜交育種	鳳山白菜 x 皇京白菜	鳳山分所	沈再發、許淼淼
	夏勝黃金	1990	自然雜交	丸葉山東 x 黃金白菜	富農種苗公司	廖學連
	珍珠白菜	1993	引種	日本 F_1	新裕興種子公司	
	扁合白菜	光復後	引種	中國 OP	民間	
	農友二號			白梗白菜	農友種苗公司	
	葵扇白菜	1951	引種	中國 OP	民間	
	青梗白菜	1951	引種	中國 OP	台灣農試所	
	341 青梗	1987	一代交配	在來青梗白菜	鄭奇種苗公司	鄭敬忠、鄭啟輝
	早生華京	1988	引種	日本 F_1	台灣農產種苗公司	廖清亮
	華王	1989	引種	日本 F_1	豐田種苗公司	
	華冠	1990	引種	日本 F_1	台灣農產種苗公司	廖清亮
	夏賞味	1991	引種	日本 F_1	富農種苗公司	廖學連
	313 青梗	1992	一代交配	在來青梗 x 新加坡種	鄭奇種苗公司	鄭敬忠、鄭啟輝
	213 青白菜	1992	一代交配	五月慢 x 青梗白菜	鄭奇種苗公司	鄭敬忠、鄭啟輝
	613 油白菜	1992	一代交配	晚生油菜 x 青梗白菜	鄭奇種苗公司	鄭敬忠、鄭啟輝
小油菜	油菜	鄭治	引種	中國 OP	民間	
	台中在來		集團選種	在來種	民間	
	苑裡油菜		集團選種	在來種	民間	
	100 天油菜		集團選種	在來種晚生	鄭奇種苗公司	鄭敬忠
	秀珍		一代交配	晚生油菜	農友種苗公司	
	油菜心	光復後	引種	香港 OP	民間	
	農友早生			油菜心	農友種苗公司	
	30 天油菜心	1995	集團選種	中國 OP	鄭奇種苗公司	鄭敬忠、鄭啟輝
	紅菜苔	光復後	引種	中國、日本	民間	
烏塌菜	烏塌菜	1951	引種	中國 OP	台灣農試所	
蕪菁	蕪菁	1959	引種	中國 OP	台灣農試所	
	野澤菜	1986	引種	日本 OP	民間	
大油菜	大油菜	1954	引種	日本、加拿大、德國	農業改良場	
	白藍菜	1976	種間雜交	日本 OP		
	千寶菜	1987	種間雜交	日本 F_1	王石龍	

主要參考文獻

1.台灣省政府農林廳編印. 1991. 蔬菜作物育種程序及實施方法. 中興新村　南投　台灣. 148pp.

2.沈再發. 1990. 十字花科蔬菜育種. 摘自：園藝作物育種講習會專刊. 台灣省農業試驗所. 霧峰　台中　台灣. p.181-202.

3.張連宗. 1985 . 結球白菜耐熱性育種. 摘自：夏季蔬菜生產改進研討會專輯. 台灣省桃園區農業改良場. 桃園, 台灣. p. 35-52.

4.張連宗. 1988. 自交不親和作物種子生產技術. 摘自：園藝種苗產銷技術研討會專集. 台灣省種苗改良繁殖場. 新社　台中　台灣. p.159-175.

5.張連宗. 1998. 台灣十字花科蔬菜品種改良. 摘自：十字花科蔬菜產業發展研討會專刊. 台灣省桃園區農業改良場特刊第九號. 桃園　台灣. p. 35-53.

6.陳農哲、鄒箎生. 1995. 亞洲蔬菜研究發展中心育種成就與展望. 摘自：蔬菜育種研討會專刊. 台灣省桃園區農業改良場. 桃園　台灣. p. 167-192.

7.李家文. 1984. 中國的白菜. 農業出版社. 北京，中國. 234pp.

8.西南農業大學主編. 1988. 蔬菜育種學（第二版）. 農業出版社. 北京，中國. 346pp.

9.馮輝、魏毓堂. 1996. 大白菜. 摘自：周長久主編. 現代蔬菜育種學. 科技學術文獻出版社. 北京　中國. p. 86-108.

10.Dickson　M.H.　D.H. Wallace. 1986. Cabbage breeding. In: Bassett　M.J. (ed.) Breeding Vegetable Crops. The AVI Publishing Company Inc., Westport Connecticut　USA. p. 395-432.

11.Haruta　T. 1962. Studies on the Genetics of Self- and Cross-incompatibility in Cruciferous Vegetables. Research Bulletin No. 2. Takii Plant Breeding Experimental Station, Tokyo,　Japan. 169pp.

12.Nishi　S. 1980. Differentiation of Brassica crops in Asia and the breeding of 'Hakuran'　a newly synthesized leafy vegetable. In: Tsunoda　S.　K. Hinata and C. Gomez-Campo (eds.) Brassica Crops and Wild Allies　Biology and Breeding. Japan Scientific Societies Press　Tokyo　Japan. p. 133-150.

13.Opeña　R.T.　C.G. Kuo and J.Y. Yoon. 1988. Breeding and Seed Produciton of Chinese Cabbage in the Tropics and Subtropics. Asian Vegetable Research and Development Center　Shanhua　Tainan　Taiwan. 92pp.

14.Opeña　R.T.　C.Y. Yang　S.H. Lo and S.H. Lai. The Breeding of Vegetables Adapted to the Lowland Tropics. Technical Bulletin No. 77. Food and Fertilizer Technology Center　Taipei　Taiwan. 16pp.

15.Talekar N.S. and T.D. Griggs (eds). 1981. Proceedings of the 1st International symposium on Chinese Cabbage. Asian Vegetable Research and Development Center Shanhua Tainan Taiwan. 489pp.

主要瓜類蔬菜育種

蕭吉雄、楊偉正、沈百奎
台灣省農業試驗所

前言

瓜類蔬菜為台灣蔬菜作物中最重要的一群，在植物分類上屬葫蘆科（Cucurbitaceae），為一年生或多年生的蔓性草本植物，其中有九屬三十種已為人類所栽培，大都原產於溫暖之熱帶、亞熱帶地區，主要栽培地區分佈世界各地。經濟栽培的九個屬分別是冬瓜屬（Benincasa）、西瓜屬（Citrullus）、黃瓜屬（Cucumis）、南瓜屬（Cucurbita）、葫蘆屬（Lagenaria）、絲瓜屬（Luffa）、苦瓜屬（Momordica）、佛手瓜屬（Sechium）及蛇瓜屬（Trichosanthes）等，包括西瓜（含瓜子瓜）、甜瓜（含越瓜）、胡瓜、絲瓜（包括圓筒絲瓜及稜角絲瓜）、苦瓜、冬瓜（含節瓜）、扁蒲、南瓜、佛手瓜及蛇瓜，其中以西瓜、甜瓜、胡瓜、絲瓜及苦瓜在台灣較為重要，其中英名、學名、染色體數及原產地列於表 1.。根據 85 年版台灣農業年報之記載，西瓜、甜瓜、胡瓜、苦瓜、冬瓜及越瓜之種植面積為 36,699 公頃，若加上未統計在內的絲瓜（約 3,000 公頃）、扁蒲及南瓜，台灣全年瓜類之栽培面積應超過四萬公頃，見表 2.。瓜類作物除供作鮮食蔬菜及水果、飼料外，亦可作食品加工原料如醃製胡瓜及越瓜、冬瓜糖、冬瓜茶、苦瓜茶、扁蒲片乾，食用瓜子及南瓜子、西瓜子製油等，扁蒲及南瓜可加工作為觀賞藝品，絲瓜絡亦可作為洗滌或其他工業用品，絲瓜液為美容原料，用途甚為廣泛。本文僅就瓜類共同特性與西瓜、胡瓜、絲瓜及苦瓜之起源和重要植物性狀、開花習性、分類和雜交親和性、遺傳及育種情況加以概要介紹。

瓜類的共同特性

瓜類蔬菜在植物形態、生活條件的要求及病蟲害方面，有許多相同之處，因此在栽培技術上就產生了一些共同特點，它們在遺傳育種行為上也有許多相似之處。

一、植物形態上的共同性：瓜類根系一般都很發達，但容易木栓化，受傷後再生能力較弱，宜以育苗盤或育苗缽育苗。其次它們的莖絕大多數為蔓性，莖上有卷鬚，可以攀緣向上，爭取陽光，利用空間，充分發揮光合作用；又節上能生不定根，可以吸收水分及養分和防止風害。因此瓜類蔬菜可行棚架栽培，亦可行匍匐栽培。瓜類具有很強的分枝性，葉腋可生側蔓，側蔓的發生和瓜類的結果及整枝有密切關係。瓜類蔬菜基本上是雌雄異花同株的蟲媒花，容易自然雜交，採種時應設法防止。很多瓜類的性型具有相當可塑性，因此可以人為方法來控制其性型，不少瓜類具有單為結果性。

二、生活條件的共同性：瓜類蔬菜原產於熱帶，在整個發育過程，要求高溫，而不耐霜寒，因此栽培上都應在溫暖季節。瓜類一般要求晝夜溫差大，日照時數多，和強烈的光照，在陰雨連綿光照不足時，病害容易發生，產量大減，品質低劣。在低溫、短日照的情形下，可以促進雌花的分化和形成。瓜類為果菜，故在施肥方面除著重氮肥外，還必須適當配合磷鉀肥料，以提高產品之質量。此外瓜類蔬菜一般都要求土層深厚，排水良好，肥沃疏鬆的中性或微酸性土壤。

表 1. 重要瓜類蔬菜之中英名、學名、染色體數及原產地

中英名	學名	染色體數 (2n)	原產地
1.Bitter gourd 苦瓜	*Momordica charantia* L.	22	印度 中國南部
2.Bottle gourd 扁蒲	*Lagenaria siceraua* (Mol) Standl.	22	印度、中亞
3.Cucumber 胡瓜	*Cucumis sativus* L.	14	印度
4.Muskmelon 甜瓜	*Cucumis melo* L.	24	印度、非洲
5.Pumpkin 南瓜	*Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.	40	南美洲
Squash 美國南瓜	*Cucurbita pepo* L.	40	北美洲
Squash or pumpkin or winter squash 印度南瓜	*Cucurbita maxima* Duch.	40	南美洲
6.Sponge gourd 圓筒絲瓜	*Luffa cylindrica* Roem. (syn. *L. aegyptiaca*)	26	印度
Ribbed or ridge gourd 稜角絲瓜	*Luffa acutangula* (Roxb.) L.	26	印度
7.Watermelon 西瓜	*Citullus lanatus* (Thunb.) Matsumura and Nakai (syn. *C. vulgaris* Schrad.)	22	非洲
8.Wax or ash gourd 冬瓜	*Benincasa hispida* (Thrnb.) Cogn.	24	東南亞

表 2. 台灣主要瓜類栽培面積的變化（公頃）

年份 / 作物名稱	69 年	74 年	79 年	84 年
	種	植	面	積
西　　瓜	19,923	21,578	19,585	18,609
瓜　子　瓜	7,176	8,820	292	0
甜　　瓜（含香瓜）	9,125	8,887	9,243	10,707
越　　瓜	1,581	784	279	442
胡　　瓜	5,555	4,456	3,232	3,163
冬　　瓜	1,455	1,232	750	1,172
苦　　瓜	-----	1,963	2,207	2,606

註：資料來源為農業年報.（民國 77 及 85 年版）

三、遺傳育種的共同性：瓜類染色體通常不易和細胞質分離，且染色體很小，彼此不易分開。瓜類為雌雄異花的異交作物，蟲媒花，一般自交生長勢減弱不明顯，大部分的瓜類屬無限型生長，可以繼續提供花朵作為授粉之用，花朵相當大，人工授粉容易，一次授粉可獲得 20~500 粒種子，又具有雜種優勢，一代雜交種甚為普遍。瓜類的目標產物是瓜果，通常在開花結果後才能判定優劣再進行選拔，因此在選拔前需先授粉。

四、病蟲害的共同性：瓜類同屬葫蘆科，故有共同的病蟲害，危害瓜類最嚴重的病害有露菌病、毒素病、蔓枯病、蔓割病、白粉病、炭疽病、疫病、根瘤線蟲病、細菌性斑點病、青枯病等。主要蟲害有瓜實蠅、蚜蟲、薊馬、紅蜘蛛及斑潛蠅等。

起源及重要植物性狀

一、西瓜

西瓜別名水瓜、寒瓜，原產於熱帶非洲，一年生蔓性草本植物，根深而廣，主根深 1 公尺以上，側根平展可達 4~6 公尺，主要根群分布在地下 10~30 公分的土層內，西瓜根系不耐濕，再生力弱，植株蔓葉生長旺盛，當瓜苗本葉 5~6 片時，莖蔓開始匍匐地面，莖蔓有稜，徑粗約 0.5~1 公分，蔓上著生葉片處是節，節上易生不定根，瓜蔓上每一葉腋均著生有側枝（芽）、花及卷鬚等，卷鬚分叉，卷鬚能攀附其他物體，西瓜的蔓一般長 3-4 公尺，蔓的分枝性強，主蔓上能生子蔓，子蔓再生孫蔓，一般品種的葉多為掌形羽狀深裂,也有全緣葉，葉上密生茸毛，葉子大小、色澤隨品種而有差異。花為雌雄異花，花冠五裂、黃色。雄花花冠較雌花稍大。雌花子房下位，在雌花開放前，子房已相當發達，雌花的柱頭及雄花的花藥都具有蜜腺，能引誘昆蟲傳粉。西瓜一般約在 5 片本葉左右開始著生花蕾，先開雄花再開雌花，除著生雌花節位外，每一葉腋都著生一至數朵雄花。雌花在主

蔓上著生的節位，品種間有差異，同一品種在不同栽培條件下亦不相同。通常早熟品種自 5~7 片本葉時出現第一朵雌花，中熟品種 7~11 片本葉，晚熟品種 11~14 片本葉。此後，雌花每隔 5~9 片葉子著生一朵雌花。

果實係子房發育而成，由果皮、胎座（瓤肉）及種子三部組成，果實的膨大，主要是依靠細胞的增大。果實依品種不同，其形狀、皮色及肉色各異。果皮顏色變化很大，可分為綠、深綠、白、黑皮及花皮。果形以圓形及橢圓為主。肉色主要分為紅、粉紅、黃、橙黃及白。西瓜的種子為扁平的卵圓或橢圓形，無胚乳，種子由種皮和胚組成，種子表面有的品種平滑，有的品種有裂紋，三倍體及四倍體品種裂紋較明顯，西瓜種子的色澤有白色、淺黃色、淺灰色、紅色、褐色或黑色，大小因品種而異，每果種子數約 400~1000 粒。

二、胡 瓜

胡瓜又稱黃瓜、王瓜起源於印度或亞洲南部的森林潮濕地區，已有 3000 年以上栽培歷史。為一年生蔓性植物，具淺根性，通常主根向地下生長，並且不斷的分生側根而向四周水平伸展，主要根系分佈在距地面 20 公分以內，這種根系對水分及養分之吸收能力不強，其根系木栓化較早，再生能力差，斷根後不易發生新根。胡瓜蔓細、節間長，無限生長，莖的橫斷面呈四稜或五稜形，中空，莖上有刺毛，莖節上每一葉腋有葉片、花、側枝和卷鬚，莖的長短因品種類型和栽培條件而異。一般早熟品種莖短而分枝少，以主蔓結瓜為主，中晚熟品種莖較長且分枝多，以側蔓結瓜為主，或主蔓、側蔓均結瓜。葉互生，為掌狀全緣，呈五角形或心臟形，葉片大小、厚薄和葉柄長短因品種而異，葉表生毛刺，蔓葉脆弱，易受機械傷害。胡瓜基本上為雌雄異花同株，但也有出現其他類型之植株，一般情況下，雌雄異花同株品種先開雄花，以後再陸續開雌花。雄花較小，多為簇生，也有單生的，雌花較大，一般多單生，也有雙花或多花的，為子房下位，雌花出現的節位因品種（遺傳）和外界條件（溫度、日照、生長調節劑）而異，早熟品種在第 3~4 節就出現雌花，而中晚熟品種則在第 7~10 節才開始出現雌花。胡瓜果實由子房與花托共同發育而成，果面平滑或有稜、瘤、刺，刺有白黑兩種，刺瘤的大小、密度也依品種而異。果形為筒形至長棒狀，嫩果白色至綠色，成熟時變為黃白色或黃褐色，有時出現裂紋。種子扁平，長橢圓形，黃色或白色，每果約有種子 150~400 粒。

三、絲 瓜

絲瓜原產於印度，為一年生蔓性草本植物，根系分布深廣，再生能力較強，莖容易發生不定根，形成比較發達的根系，主根深達土層 1 公尺以下，但根的分佈深度在 10 公分以下 30 公分以上的土層中。莖蔓性、五稜、綠色，主蔓一般長 4~6 公尺，有的長達 10 公尺以上；各節腋芽能發生子（側）蔓，子蔓各節腋芽又能發生孫蔓，形成強大的莖蔓，抽蔓開始，各節還有花芽，發生雄花、雌花和卷鬚，卷鬚分叉。花黃色或淺黃色，雌花多單生，雄花為無限總狀花序，常數朵或十數朵形成一簇雄花群。葉互生為心臟形或多角形，呈掌狀分裂（ 3~7 裂）或不分裂，一般普通絲瓜較稜角絲瓜之葉深裂、葉色深綠色或淺綠色、密被茸毛。

普通絲瓜果實從短圓柱形至長棒形、綠色，表面粗糙，有數條墨綠色淺縱紋。稜角絲瓜果實呈棒狀、綠色，表面有皺紋，具 7~10 條稜，稜綠色或墨綠色，種子近橢圓形、扁平、黑色或灰黑色。稜角絲瓜種皮較厚，表面有皺紋，每果含種子約 60~150 粒。普通絲瓜種皮較薄，表面平滑或具翅狀邊緣，黑色或白褐色，每果含種子 100~400 粒。表 3.列出圓筒絲瓜及稜角絲瓜性狀上之差異。

四、苦 瓜

苦瓜又名錦荔枝、癩葡萄、癩瓜，原產於印度東部或中國南部之熱帶地區，為一年生蔓性植物，根系比較發達，根群分布寬達 1.3 公尺，深 30 公分以上。蔓細、呈五稜形，分枝性極強，母（主）蔓各節腋芽活動力強，能發生子（側）蔓，側蔓各節腋芽又能發生孫蔓，形成比較繁茂的蔓葉系統，各節除腋芽外還有花芽和卷鬚，卷鬚單生。葉為掌狀深裂，淺綠或深綠色，光滑無毛。花小，雌雄花單生，有時穗生，黃色，雌雄異花，先開雄花，後生雌花，雄蕊三裂離生，柱頭三裂，有時二裂，子房下位，雌花著生的節位因品種而異，一般主蔓 8~20 節發生第一朵雌花，側蔓 1~2 節即著生雌花，以後每隔 3~7 節再著雌花。果實多為紡錘形、圓錘形或長圓筒形，依品種而異，果實表面有縱向大小不規則的瘤狀或條狀突起；嫩瓜呈淺綠、深綠或白色，成熟後變為桔紅色，最後先端破裂，露出紅色種皮。種子扁平，稍厚，呈長卵形，具龜殼花紋、淺褐、深褐或黑色。苦瓜性喜溫暖氣候，耐熱、耐濕，適應性強，生長健壯、生長期長。

表 3. 圓筒絲瓜和稜角絲瓜的特性比較

特　性	圓　筒　絲　瓜	稜　角　絲　瓜
子葉色	濃綠，主脈銀白色	淡綠，主脈不呈銀色
本葉色	濃綠，苗期葉脈間銀白色	淡綠，苗期葉脈間不呈銀白色
葉　形	常 3~7 缺裂，缺裂較深	常呈 3~5 角形
開花時間	清晨至當日中午，低溫期延後	下午至晚上，低溫期延後
花瓣色	黃至深黃	淡黃
花冠大小	通常較大	通常較小
花　萼	僅雌花萼有腺體	雌雄花萼都有腺體
雄花穗	花數較少，花梗較短	花數較多，花梗較長
雄　花	較大，色較黃	較小，色較淡
果實表面	無稜角，具淺線條	有稜角 10 條，具橫皺紋
花　柱	較粗長，五裂各自分開	細短，五裂(2+2+1)
肉　質	較綿軟	較細脆密緻
老果纖維	疏而較軟，與果皮易剝離	較細密而硬，與果皮不易剝離
種　子	黑褐色，或黃白色，較薄，常平滑	黑色，較厚硬，較尖，表面凹凸紋
苦　味	通常不苦	通常不苦

花性、開花及授粉習性

一、西 瓜

西瓜為雌雄異花同株，通常為單性花，但也有部分品種為兩性花，花小黃色。通常西瓜在第 6~10 節著生第一朵雌花，以後每隔 5~9 節再生雌花，雌花數量占總花量的 1/20~1/10 。開花中期有的植株連續 2-3 節產生雌花。西瓜每天開花早晚與夜間溫度有關，開花時隨氣溫的逐日增高，開花時間也逐日提前，一般在早上 6 時左右開放，下午即閉花，陰天氣溫低、濕度大時，開花時間延遲。授粉效果以 6~9 時最好。西瓜開花後 3-5 分鐘出現花粉，即可進行人工授粉，授粉 3 小時後可完成受精，西瓜雌花受精後，子房迅速膨大，幼果密生茸毛，此時最忌碰傷，開花期天氣晴暖，容易受精結瓜。西瓜花粉發芽的適宜溫度為 25~30 ℃， 35 ℃以上可能就不發芽。授粉後 60 分遇上下雨，即使下雨時間很短（僅 30 分）雌花也不能受精結實。授粉前下雨，只要柱頭保持乾燥並授以乾燥的花粉，對受精和結實的影響不大。雌花開花當天在不同時間授粉，對結實力有一定的影響，剛開放的雌花是柱頭生活力最旺盛的時候，授粉結實力最高， 8~9 時受粉有較高的結實力。因此，清晨至上午 9 時前是授粉的適當時間，中午前後柱頭分泌粘液，影響授粉，10 時以後授粉，結實率明顯地降低。

二、胡 瓜

胡瓜通常為單性花，但具有兩性花的原始形態特徵，在花器分化過程中有的雌蕊退化，形成雄花；有的雄蕊退化，形成雌花；也有雌雄蕊都有所發育，偶爾形成不同程度的兩性花。胡瓜性型的分化和早熟高產有相當密切關係，其基本性型為雌雄異花同株（ Monoecious ）。胡瓜依其植株上花的性別及組合產生下列七種性型：

1.雌雄異花同株（ Monoecious ）：植株上有雌花和雄花，通常雄花常多於雌花，這是最常見的一種標準型。
2.雌性株（ Gynoecious ）：植株上著生的均為雌花。
3.雌花兩性花同株（ Gynoemonoecious ）：植株上為雌花和兩性花。
4.兩性株（ Hermaphroditic ）：植株上均為兩性花。
5.雄花兩性花同株（ Andromonoecious ）：植株上著生雄花和兩性花。
6.雄株（ Androecious ）：植株上全著生雄花。
7.雌花、雄花、兩性花同株（Trimonoecious）：植株上有雄花、雌花及兩性花。

胡瓜花冠黃色，雄花簇生性，雌花通常單生在葉腋，子房下位，有 3~5 子室，花柱短，柱頭三裂。胡瓜為蟲媒花，品種間自然雜交率高達 50-75％。胡瓜雌雄花分化的早晚、多少及其分布情形，常受到遺傳及環境的控制，可塑性相當強。花朵通常在清晨 5:30~6:00 時開放，花的壽命可延遲到當日下午。當花冠完全展開之際，即花藥開裂之時，而花粉通常在開花前一日的下午已有發芽能力。花粉壽命在自然狀態下於開藥後 4~5 小時即迅速失去其活力，溫度愈高愈早開裂。

一般在 15 ℃開始開花， 17 ℃左右開始開藥，二者的適溫為 18~21 ℃， 12.8 ℃以下就停止開花開藥。花粉發芽的溫度界限為 10~35 ℃之間，最適溫為 17~25 ℃。胡瓜在受粉後 4~5 小時花粉管即可達 2-3 ㎜，比南瓜慢但比甜瓜快。雌蕊於開花前兩天到開花次日均有受粉能力，雌花有時有單為結果性。

三、絲瓜、苦瓜

絲瓜和苦瓜為東方蔬菜，研究資料較少，但其開花及授粉習性和其他瓜類相似。絲瓜花為雌雄異花同株，花冠黃色，雄花為總狀花序，每花序十餘朵。普通絲瓜的花通常在清晨開放，花藥開裂與開花同時，柱頭有較長時間的接受力，花粉也有高的授精能力。稜角絲瓜在下午 4~5 時以後開放，黃昏時開放較多。絲瓜之花性主要受二對獨立的抑制基因（ suppressor ） A 及 G 所控制， A 抑制雄花而 G 抑制雌花的發育。如雌雄異花同株及三性株之基因型為(A – G –)，兩性花及雄花同株為(aa G –)，全雌株為(A – gg)，兩性株為(aagg)。

苦瓜為雌雄異花，先開雄花後再生雌花、花小、黃色；開花約在清晨 3:30~7:30，花藥開裂從深夜到上午 7:30 花完全開放，花粉活力很高（ 90~99％ ），但花粉發芽率僅 66~68％，柱頭在開花前及開花後 24 小時均有活力，為蟲媒花。

分類及雜交親和性

一、西 瓜

日本下間實(1963)引用 Cagniaux 及 Harms (1924)之文獻稱西瓜屬有四個種，*C. vulgaris* Schrad. （ syn. *C. lanatus* (Thunb.) Mansf.）、 *C. colocynthis* (L.) *Schrad.*、*C. ecirrhosus* Cogn.及 *C. naudinianus* (Sond.) Hook.，他認為一種果實具有苦味之 *C. vulgaris* 為西瓜栽培種之祖先，四個種均具染色體 2n=22 。這四種均原產於非洲。前蘇聯福爾薩於 1972 年根據前蘇聯作物栽培研究所從全世界 60 多個國家收集來的 2000 多份栽培和野生西瓜樣本材料的試驗分析結果，按照生物學特性和形態特徵之差異，將西瓜屬分為四個種，五個亞種、七個變種。

1. 普通西瓜 *C. lanatus* ：一年生，原產非洲南部，但在埃及、亞洲中部、西部、南部分佈很廣。雌雄異花同株，花中等大小；葉大、綠色，呈圓形到卵形、三角形，具 3~5 個深裂；果實中到大果，果皮厚，果肉水分含量高，果肉顏色從紅、黃、粉紅、橙黃到白；種子由卵形到長橢圓形，具白或棕色種殼。種內包含了三個亞種；(1)毛西瓜亞種 *ssp. lanatus*，又分 3 變種。(2)普通西瓜亞種 *spp. vulgaris* 下有 2 變種。(3)粘仔西瓜亞種 *spp. mucosospermus* 含 2 變種。
2. 藥西瓜 *C. colocynthis*：為多年生，原產於北非之沙漠地區，主要和 *C. vulgaris* 不同處，為植物器官之大小，葉小具狹窄之裂片、多毛、白灰綠色，花小，為雌雄異花同株；果實小通常不超過 3 吋，具海綿狀果肉，果皮、果肉均有苦味、有毒。種內包含了 2 個亞種；(1)藥西瓜亞種 *spp. stenotomus*。(2)淡藥西瓜亞種 *spp. insipidus*。

3.缺鬚西瓜 *C. ecirrhosus*：只有野生種，分佈於西南非之沙漠地區。植株營養生長之特徵和 *C. colocynthis* 相似，葉片更深裂且具濃密細毛，葉緣捲曲，自然環境下缺卷鬚，但人工栽培都能長出正常三叉卷鬚，果實近球形，果肉白色而苦，第二年才開花。

4.羅典西瓜 *C. naudinianus*：為多年生，雌雄異株，亦原產於西非之沙漠地區，和他種不同處在於葉如棕櫚樹之深裂，具濃密而細之絨毛，卷鬚不分叉，但在頂端略彎曲，果呈橢圓形、中到大型、皮薄、果肉軟而多汁，種子白色、在自然狀況下不發芽，第二年才開花。

二、胡 瓜

英國植物學家虎克（J.D. Hooker）在喜馬拉雅山南麓一帶發現了野生胡瓜。1970 年日本的尼泊爾及喜馬拉雅學術考察團再次發現了野生類型，並定名為 *C. sativus* var. *hardwickii* Kitamura，該野生種的染色體為 n=7，並可與栽培胡瓜品種正常雜交，中國科學工作人員也在雲南西雙版納地區發現比 *C. sativus* var. *hardwickii* 果柄稍短、果面密生刺瘤的野生種定名為 *C. yunannensis* Wu。胡瓜由於分布廣泛，在各地生態條件及人工選擇的影響下，形成了許多類型和品種，但種以下的分類方法並不一致。就世界各地胡瓜品種的形態特徵及其主要生態條件來分，有下列幾個類型。

1.歐美型：該型枝蔓繁茂，果實多短粗、瘤稀、黑刺，適露地栽培，現在多以一代雜交種用於生產。

2.北歐型（即 var. *anglicus* Bailey）：該型葉大枝旺，果實長而粗，果皮光滑，無刺瘤，種子少或單為結果。適應低溫弱光，對日照長短要求不太嚴格，多在溫室設施中栽培，現多為一代雜交種。

3.南亞型：該型果實粗而長，少或無刺瘤，果色較淺，耐濕熱，嚴格要求短日照條件。如錫金黃瓜（var. *sikkimensis* Bailey）及中國的版納黃瓜都屬此類型。本類型適南亞濕熱條件下的露地栽培，品種多半未經改良。

4.華南型：該型枝葉較繁茂，較耐濕熱及弱光，要求短日照，果實較粗短，刺瘤稀。

5.華北型：該型果實較細長、刺瘤密，對日照長短的要求不嚴格，抗濕熱性及耐弱光性都較差，但品質好。

6.其他類型：如小型乳黃瓜。

中國蔬菜栽培學則將胡瓜分類如下：

1.野生胡瓜：原產喜馬拉雅山區亞熱帶雨林氣候區。莖葉細小，分枝性強，間生雌花，九月開花。果實 12 月成熟，果實和種子均小，味苦不可食。在原產地為玉米田間雜草。

2.版納胡瓜：分布於雲南西雙版納至橫斷山區。蔓葉粗大，有分枝。嫩果乳白、淺綠或深綠色，有瘤和黑刺。熟果圓或短筒形，乳白、灰白、棕黃色，果面有淺或深網紋。熟果胎座呈橘紅色，4-5 室，肉質淡薄，可食。單果重 1-2 公斤，最大果重達 5 公斤。

3.小胡瓜：分布很廣，在中國南、北方均有種植，特別是沿海各地尤多。其生長勢較強，分枝多。早熟、花多果多。果實較小，刺密，皮薄瓤大，特別脆嫩。適以嫩果加工為各種高級小菜。

4.華南胡瓜：分布於中國西南、東南及長江流域。蔓葉較壯大，根群較發達。嫩果多是綠色黑刺品種，間有綠白、黃白或白色帶刺品種。果皮較厚硬，肉質中等。熟果黃褐色，有網紋。果形多筒狀，中小型。植株較茁壯，具有短日性，較耐低溫乾燥，抗病性較弱。

5.華北胡瓜：分布於中國黃河流域和北方各地。一般認為華北胡瓜系於公元前 122 年前後漢使由中亞波斯的 Bacteria（一說由新疆烏孫）引入。但與中國胡瓜原產地毗鄰，山水相通，民族雜居，也可能通過自然傳播，並且在自然和人工選擇條件下，形成華北胡瓜。華北胡瓜蔓細葉薄，生長勢較弱，根群稀疏，再生力弱。喜光、喜溫、喜濕，日照中性。果形長筒至棒狀或棍狀，大中型。嫩果多綠色白刺品種，果皮薄，肉質清香脆嫩，3 室。熟果黃褐至棕黃色，有的出現網紋。有不同程度的抗病性。

6.其他：中國各地也零星分布一些歐洲薄片胡瓜和泡菜胡瓜，北美和日本胡瓜。其中歐洲泡菜胡瓜較適大陸氣候。且多早熟豐產的優質品種，有一定的發展前途。

三、絲 瓜

絲瓜原產於亞洲之熱帶或亞熱帶地區，可能是印度。染色體 $2n=2X=26$ 。絲瓜屬比較重要的四個種為 *Luffa cylindrica* (syn. *aegyptica)*、*L. acutangula*、*L. echinata* 及 *L. graveolens*，前二者在一些國家已有經濟栽培。*Luffa cylindrica* 在上午 4-8 時點開花，而 *L. acutangula* 則下午 5 點到晚上 8 點之間開花。以 *Luffa cylindrica* 為母本容易和 *L. acutangula* 雜交獲得種子，但 F_2 會有不穩性。兩者雜交 F_1 植株很多性狀均介於兩親之間，惟 F_1 果實具很強苦味。

四、苦 瓜

野生的 *Momordica charentia* var. *abbreviata* Ser.可能為苦瓜栽培種的祖先。目前廣泛分布在中國、馬來西亞、印度及熱帶非洲。*Momordica* 屬包含有八個種，其中 *M. charentia* L.廣為栽培。此外尚有 *M. dioica*、*M. tuberosa (cymbalaria)*、*M. balsamina*、*M. cochinchinensis*、*M. sebangulata*、*M. denudata* 及 *M. macrophylla*，前兩種可食並有栽培。有人曾進行 *M. charantia* 及 *M. dioica* 雜交，但授粉 500 朵花均未結種子，在授粉後 2 小時花粉不發芽， 40 小時子房就乾枯，*M. dioica* 和 *M. balsamina* 雜交，授粉 400 朵花全部無法獲得果實及種子。*M. charantia*、*M. dioica* 及 *M. cymbelaria* 三者雜交具不親和性。

瓜類遺傳

俗語說："種瓜得瓜，種豆得豆"，優良的品種總是可以得到較好的收穫，這種作物產生與自己或祖代性狀相似的後代，就是遺傳，這是生物界普遍存在的

現象。親代的性狀是經由染色體上的遺傳物質或基因傳遞到子代。因此瞭解控制作物性狀的遺傳行為，極為重要，性狀是受細胞質或細胞核上的基因所控制呢？或是受到細胞質及細胞核基因的共同作用呢?是一對或少數對主效基因（ major gene ）控制或多對的微效基因（ polygenes ）控制？它們的遺傳率如何?對立基因（ alleles ）的顯隱性關係為何？不同基因座（ loci ）間的基因的交感作用（ interaction ）又如何？基因間有無連鎖、互補、修飾、抑制、重複或累加的作用？瞭解基因的遺傳行為，對於擬訂育種計畫，及父母本的選定，族群的大小及採用何種育種方法等等將會有很大的幫助。通常如產量、品質、適應性、株高等等，是由微效基因所控制。目前已知瓜類重要性狀的遺傳仍嫌不足，茲摘錄西瓜、胡瓜部分基因及所控制的性狀於表 4.及表 5.，其中大寫英文字母表示為顯性基因，小寫英文字母為隱性基因。詳細請參考 HortScience 11(6)，瓜類遺傳協會會報（ Cucurbit Genetics Cooperative ）第 8 、 12 、 16 及 20 卷（胡瓜）； 10 、 14 及 18 卷（西瓜） 和 Genetic Resources of Cucurbitaceae 。絲瓜及苦瓜則因研究較少，僅列出少數性狀及可能控制之基因數目於表 6.及表 7.供作參考。

表 4. 西瓜部分基因及所控制之性狀：

基因符號	經 濟 性 狀
a	雄花完全花同株，對雌雄異花同株為隱性。
Af	對南瓜紅甲蟲有抗性。
Ar-1	抗炭疽病 race-1 。
Ar-2[1]	抗炭疽病 race-2 ，來自 PI 299379 及 PI 189225 。
bl	少側枝，僅普通的一半。
C	瓤肉呈 canary 黃，對粉紅色為顯性。
d	具點狀種殼。
db	抗蔓枯病，來自 PI 189225 。
dg	子葉及嫩葉延遲轉綠。
dw-1	短節間。
$dw\text{-}1^s$	短蔓，和 dw-1 為等位基因，蔓長介於正常株及叢生性植株之間。
dw-2	短節間。
e	果皮易裂，薄而脆。
f	果皮有溝紋，對光滑為隱性。
Fo-1	對蔓割病 race-1 有抗性。
Fwr	對西瓜瓜實蠅有抗性。
g	淡綠色果皮,，對濃綠果皮為隱性。
g^s	呈條紋綠色果皮，對濃綠色果皮為隱性，但對淡綠色果皮為顯性。

基因符號	經　濟　性　狀
go	老葉及成熟果實呈黃色。
gms	葉片無絨毛的雄不孕性。
I-dg	延遲轉綠之抑制基因對 dg 具上位性。
l	長型種子，對中等長為隱性。
m	綠斑果皮，果皮呈白綠色綠斑。
ms	雄不稔。
nl	葉片無缺刻，不完全顯性。
O	果呈橢圓形，對球形為不完全顯性。
p	果皮上有不明顯的鉛筆狀線條。
pm	對白粉病為感病之隱性基因。
r	種子紅外殼。
s	短型種子。
slv	幼苗葉片雜色化。
Sp	子葉、真葉及果實具斑點。
su	苦味抑制因子，果實不苦。
t	褐色種殼。
w	白色種殼。
Wf	白色果肉，對黃色及紅色為顯性，且對另一對控制果肉顏色的基因呈上位性。
y	黃色果肉，對紅色為隱性。
y^o	橙黃肉，和 y 為等位基因， Y(紅肉)對 y^o 為顯性，來自 Tendersweet Orange Flesh 。
Yl	黃色葉片，對綠色葉片為不完全顯性，來自 Yellow Skin 。

表 5.　胡瓜部分基因及所控制之性狀：

基因符號	經　濟　性　狀
a	全雄性。
ap	花藥變成萼片的雄不稔性。
Ar	對炭疽病有抗性。
B	黑刺或褐刺對白刺為顯性。
B-2	黑刺，與 B 交感，產生 15 黑：1 白之 F_2。
B-3	黑刺，與 B-4 交感，產生 9 黑：7 白之 F_2。

基因符號	經濟性狀
B-4	黑刺，與 B-3 交感，產生 9 黑：7 白之 F_2。
bi	全株無苦味。
bl	在溫度變化太大時，植株缺少頂芽。
bla	鈍葉。
Bt	果實有苦味。
bu	叢生性，節間短。
Bw	抗細菌性萎凋病。
c	成熟果呈乳白色。
Cca	對 Target leaf spot 有抗性，抗性為顯性。
Ccu	對黑星病 (scab) 有抗性，抗性為顯性。
cd	葉綠素缺乏症。
cl	花閉症，雄花及雌花均不開放，為一種雄不稔。
cla	對炭疽病 race-1 有抗性，為隱性基因。
Cm	對 *Corynespora melonis* 有抗性，抗性為顯性。
Cmv	對 CMV 有抗性的基因之一。
co	綠花冠。
cp	叢生性，縮短節間長度，不易產生卷鬚，花小。
cr	葉片皺縮。
cs	心皮割裂。
D	果皮較沒光澤。
de	停心性，短主蔓。
df	在長日照下延遲開花，且與種子休眠有關。
di	對胡瓜斑點及條斑甲虫有抗性。
dl	延遲生長速度，下胚軸及第一節間變短。
dm	抗露菌病，數個抗露菌病基因之一。
dvl	葉片部分或完全深裂。
dw	矮性，短節間。
Es_{-1}	心皮各自分開，子腔有大或小空隙。
Es_{-2}	心皮各自分開，子腔有大或小空隙。
F	全雌性。
fa	扁平帶狀莖。
Fba	花蕾未開即掉落。

基因符號	經濟性狀
Foc	抗蔓割病，顯性基因。
g	下位葉黃化。
gb	果實小卵圓型。
gc	子葉金黃色。
gl	光滑葉，葉片缺絨毛。
gy	全雌性之隱性基因。
H	果實有密網紋。
I	有修飾 P 基因對果面刺瘤的作用。
In-de	對 de（停心性）基因有加強作用。
In-F	對全雌性有加強效果。
l	心室數目，3 心室對 5 心室為顯性。
lh	長胚軸。
ll	小葉但果實正常。
ls	對光敏感。
m	控制雄花完全花同株基因。
m_2	亦為控制雄花完全花同株基因，但果實大小正常。
mp	在同一節位上有多雌花性。
Mp_{-2}	在同一節位上有多雌花性。
ms_{-1}	雄不稔基因之一。
ms_{-2}	雄不稔基因之一。
n	果梗背地性。
ns	多刺，為隱性基因。
o	橙黃花冠。
p	黃色成熟果面有明顯的小結節。
pc	單偽結果性。
pl	子葉為致命的白綠色。
pm_{-1}	對白粉病有抗性之隱性基因。
pm_{-2}	對白粉病有抗性之隱性基因。
pm_{-3}	對白粉病有抗性之隱性基因。
pm	對白粉病有抗性之隱性基因。
pm-h	抗白粉病呈現在胚軸上。
pr	突起的子房。

基因符號	經濟性狀
psl	對細菌性角斑病有抗性。
R	成熟果呈紅色。
rc	子葉狹短而下捲。
ro	叢生性，短節間，葉如甜瓜。
s	控制果刺大小及密度。
s_{-2}	控制果刺和 s-3 共同作用，產生小而密的刺。
s_{-3}	控制果刺和 s-2 共同作用，產生許多小而密的刺。
sa	耐鹽性。
sc	發育不全的子葉。
Sd	抗二氧化硫。
sp	短葉柄，為正常葉柄長度的 20 %。
ss	果刺細小，對粗大果刺為隱性。
T	高大植株。
td	無卷鬚。
te	薄脆果皮。
Tr	雄花、雌花及完全花同株。
Tu	具刺瘤果實。
u	未熟果色一致性。
ul	雨傘葉，在相對濕度低時葉緣向下捲。
w	白色未熟果。
wf	白色果肉。
Wmv	對 wmv_{-2} 有抗性。
Wmv_{-1}	對 wmv_{-1} 有抗性。
yc_{-1}	黃色子葉，初期黃色後變綠。
yc_{-2}	黃色子葉。
yf	黃色果肉。
yg	未熟果呈黃綠色。
yp	黃色植株，葉淡黃綠色，生長緩慢。
zymv	對 ZYMV 有抗性，可能為不完全顯性。

表 6. 絲瓜部份性狀之遺傳

經濟性狀	控制基因
花冠色	單一基因。
果面	單一基因。
種子表面	單一基因。
苦味	單一顯性。
雄蕊形狀	單一基因。
雌雄花器	二對獨立基因。

表 7. 苦瓜部份性狀之遺傳

經濟性狀	控制基因
果皮	綠色對白色為單一顯性。
果肉	綠色對白色為單一顯性。
刺瘤	瘤狀突起對平滑為顯性。
苦味	有苦味對微苦為單一顯性。
種子顏色	深褐色對淺褐色為單一顯性。
種子大小	小種子對大種子為單一顯性。

育種目標

育種目標就是作物開始進行育種時，首先要決定作物的那些性狀需要加以改良，或者要選育具有什麼性狀的品種，目標若不明確往往徒勞無功，為擬定切合實際需要的育種目標，應先瞭解可能推廣地區的氣候、土壤及地形等自然條件，病蟲害和其他逆境發生的情形，農民栽培習慣，品種的分佈狀況，農業經營條件和社會條件以及現有品種的缺點，除外，尚需要有前瞻性，預估到將來農業生產技術及社會需求等產生變化時對新品種的性狀有什麼要求。俟育種目標確定後，就開始搜集或選擇適合育種目標的原始材料。

作物主要育種的共同目標，可說大同小異，不外乎增加單位面積產量，改善品質，增強對風土適應性及抵抗逆境的能力，提高對病蟲害之抗性與耐貯運性等等，但仍然會隨作物的種類，栽培地區及消費市場而異，並可能隨時代的改變而發生變化。例如日本西瓜育種目標為了其氣候條件及配合國內消費者的需要，以育成早熟、果形中小型、瓤質細緻、甜而多汁、種子中小形之一代雜交種為主。美國則以育成中晚熟、大果形、果皮堅硬、耐貯運、不易變質、種子大形、抗病性強的固定品種為主。本省西瓜育種目標除產量外，尚應考慮：1.土壤適應性。2.成熟期。3.抗病性。4.果形大小。5.果型。6.外皮顏色。7.果皮硬度及厚薄。8.瓤色。9.甜度。10.肉質。11.種子有無。12.抗逆境等條件。以育成產量高、生長

強健、適應性廣、早熟、果皮薄但耐運輸、品質好、肉色佳、甜度高而穩定、種子少或無、抗各種病害（毒素病、蔓割病、炭疽病、蔓枯病等），耐低溫之各種不同果型、肉色及外皮顏色的大小形西瓜一代雜交種。

美國之胡瓜主要有鮮食用，即所謂之 slicing cucumber 及加工用之 pickling cucumber 兩種，兩者之育種目標的共同性，如高產、適應性廣、抗病蟲性（如毒素病、白粉病、露菌病、炭疽病、黑星病、青枯病、細菌性角斑病、根瘤線蟲病、target leaf spot 、胡瓜甲蟲、蚜蟲、葉蟎、粉蝨）、無苦味外，加工品種尚需要適合機械採收、品質適合加工、具穩定之全雌性、結果數多。而 slicing cucumbr 要求果形端直、刺少、果色濃綠無條紋，最近矮性品種亦受到注意，兩類型均以育成一代雜交種為主要趨勢， 1987 年美國胡瓜育種家在引進胡瓜種源中，希望加以評估的性狀，列於表 8.。日本之胡瓜育種目標則以育成節成性、果實大小整齊一致、外形美觀、果色鮮綠、抗病性（毒素病、白粉病、露菌病、蔓枯病等）、高品質、溫室栽培之花瓜一代雜交種為主。台灣之胡瓜有大瓜、花瓜及加工用品種三種類型，除一些共同育種目標外（如抗病、豐產、高品質、適應性強），大瓜需要果色黑綠色或清綠色、肉厚、瘤刺少，雌花形成不受日照影響，早熟、味甜、無苦味、耐貯放。花瓜需雌花比率高、果實大小整齊一致、果色淺綠色、肉質脆嫩、皮薄、耐熱、耐寒等，而加工用品種則要求果形中等大，大小整齊、含水量少、肉厚、適合加工且加工成品比率高。三類型均以育成一代雜交種最普遍。

絲瓜之育種目標以育成豐產、生長勢強、早生、適應性廣、耐寒、抗病（病毒病、露菌病、蔓割病、白粉病等）、抗蟲（瓜實蠅、紅蜘蛛、蚜蟲等）、雌性強、雌花形成不受日照及溫度影響、果實品質佳、無苦味、煮後清脆、不易變黑、果形端整、不易裂果、肉厚、纖維老化慢、味甜、耐貯運、果皮濃綠或淺綠（黃）色等為主。苦瓜除育成豐產、生長勢強、適應性廣外，尚需考慮雌性強、早生、果形端整、苦味淡、肉白而厚、耐壓、耐運輸、抗病（蔓割病、露菌病、病毒病）及抗瓜實蠅等目標。

表 8. 胡瓜育種者在所收集之胡瓜材料中願意評估的性狀優先順序
Table 8. Traits in the plant introduction collection of cucumber that cucumber breeders would like evaluated (listed in order from 1987 survey).

Rand in survey		
1987	1985	Trait
1	7	Gummy stem blight resistance*
2	5	Root knot nematode resistance*
3	15	Alternaria leaf blight resistance
4	3	Rhizoctonia fruit rot resistance*
5	12	Heat tolerance
6	2	Anthracnose resistance*
7	26	Pythium cottony leak resistance
8	1	Fruits/plant (combining ability in gynoecious hybrid)*

Rand in survey		
1987	1985	Trait
9	8	Downy mildew resistance*
10	6	Fruit seed cell size
11	14	Cold shock resistance
12	11	Pickle worm resistance*
13	17	CMV resistance
14	18	WMV-1 resistance
15	19	WMV-2 resistance
16	16	ZYMV resistance
17	23	Drought resistance
18	25	Earliness (no. oversized fruits in single-harvest trial)*
19	20	Angular leaf spot resistance
20	22	Cold germination
21	21	Target leaf spot resistance
22	13	Salt tolerance*
23	4	Fruit shape (appearance, not length/diameter ratio)
24	9	Powdery mildew resistance
25	10	Fruits/plant (actual)
26	28	Days to first flower
27	24	Branching habit
28	27	Cucumber beetle resistance
29	29	Daylength response
30	-	Unique character (character not previously documented)*
31	33	Scab resistance
32	-	Spider mite resistance
33	31	Fusarium wilt resistance
34	32	Bacterial wilt resistance
35	30	Verticillium wilt resistance
36	-	Nutritional value
37	-	Parthenocarpic tendency
38	-	Cold vigor
39	-	Brinestock quality
40	-	Sex expression
41	-	Cold vigor
-	-	Beet pseudo-yellows virus (cucumber yellows)
-	-	Rhizoctonia seedling damping-off resistance
-	-	Air pollution resistance

*Trait currently being evaluated, or evaluation completed.

-Not on trait list for survey.

資料來源：美國瓜類遺傳協會會報 11 卷.

育種方法

瓜類蔬菜除甜瓜的經濟栽培品種有雄花完全花同株（andromonoecious）外，其餘均為雌雄異花同株（monoecious），因此育種時，可應用異交作物的育種方法，而瓜類自交時發生自交劣勢的情形不明顯，故亦可參考自交作物的育種方法。因此瓜類蔬菜的育種方法有選種法（單株選種、混合選種、輪迴選種）、雜交育種、回交育種、倍數體育種及一代雜交育種法等，見表 9.。但根據 1988 年美國 Wehner 博士進行6個公家機關及11 家私人種苗公司的胡瓜育種者所採用之育種方法的問卷調查，其中以譜系法（pedigree）及回交育種法（backcross）應用最多，其次為自交回交法（inbred-backcross）及單籽後裔法（single-seed descent），輪迴選種則較少應用，請參考表 10.，而最終之育種產品則以一代雜交種（hybrid cultivar）最普遍，尤其私人種苗業者大都以一代雜交種為最終產品推出，其次則以自交系作為種原或品種方式推出，而以多系品種（multiline culitvar）或合成品種（synthetic cultivar）推出的情形較為少見。本文為減少篇幅，謹以西瓜倍數體育種（圖 1.）、回交育種法轉移胡瓜全雌特性(表 11.)為例及一代雜交育種法來說明，其他育種方法，請參考本研習會中相關各章講義。

表 9. 自花及異花授粉作物之育種方法

自花授粉作物	使用情形	異花授粉作物	使用情形
1.引種	用	1.引種	用
2.選種		2.選種	
(1)混合選種	偶用	(1)混合選種	常用
(2)純系或單株選種	常用	(2)單株選種	僅為 F1 親本之用
(3)輪迴選種	偶用	(3)後裔選種與系統選種	用
		(4)輪迴選種	用
3.雜交育種		3.雜交育種	
(1)譜系法	用	(1)譜系法	少用
(2)混合法	用	(2)混合法	用
(3)單籽後裔法	用	(3)單籽後裔法	少用
4.回交育種	用	4.回交育種	用
5.一代雜交育種法	偶用	5.一代雜交育種法	常用

表 10. 1987 年調查美國 6 個公立機關及 11 家私人企業機構的胡瓜育種者所採用之育種方法

Question / Answer	Ranking of responses	
	Public	Private
Average ranking of breeding methods:		
Pedigree (cross, select, self)	1.2	1.4
Backcross (cross, select, backcross)	1.3	1.6
Inbred-backcross (cross, BC, self, self, sel.)	2.0	2.0
Single-see descent (cross, self, self, sel,)	2.3	2.4
Recurrent selection (RS) -half-sib	2.7	3.3
-full sib	3.2	3.1
-S_1 line	2.5	3.3
-S_2 line	3.0	3.5
Mass selection (single-plant RS)	2.8	3.1
Pure-line family (cross, bulk, self, sel.)	3.3	3.3
Reciprocal recurrrent selection	3.5	3.6
Objective for release of germplasm types:		
Inbred line (germplasm)	2.0	2.8
Population (germplasm)	2.7	3.6
Hybrid cultivar (2-4 inbreds crossed)	2.0	1.1
Inbred or line cultivar (from selfing)	2.5	2.6
Open-pollinated cultivar (from mass sel.)	3.5	3.3
Multiline cultivar (mixture of isolines)	3.5	3.7
Synthetic cultivar (>3 inbreds intercrossed)	3.8	3.6

[a] Importance was rated 1 to 4 (1=frequent, 2=occasional, 3=rare, 4=never)
資料來源： Todd C. Wehner (1988) CGC 11:10

一、倍數體育種

瓜類之倍數體育種以西瓜最為成功。育成三倍體無子西瓜的理論，首先由日本木原均博士提出，其育成之步驟包括：

1.二倍體普通西瓜優良品種自交系的育成。
2.優良二倍體自交系用 0.15~0.4%的秋水仙素處理以獲得四倍體的自交系。處理方法可用秋水仙液浸漬幼苗或種子或在幼苗的生長點置放含有秋水仙液之棉花球。所用秋水仙素之濃度視溫度而異，高溫時濃度宜低，低溫時濃度稍高。
3.以四倍本為母本，二倍體為父本進行雜交，以獲得不同三倍體雜交組合的種子。
4.種植不同雜交組合之三倍體西瓜，在開花期授以普通二倍體西瓜之花粉，促使三倍體無子西瓜果實肥大。經過植株性狀及果實特性調查後，選拔最優良之四倍體

及二倍體親本並推廣其雜交組合。詳細之育成方法可參考郁宗雄(1971)無子（三倍體）西瓜生產之理論與實際，科學月刊 2(5):11~13 。

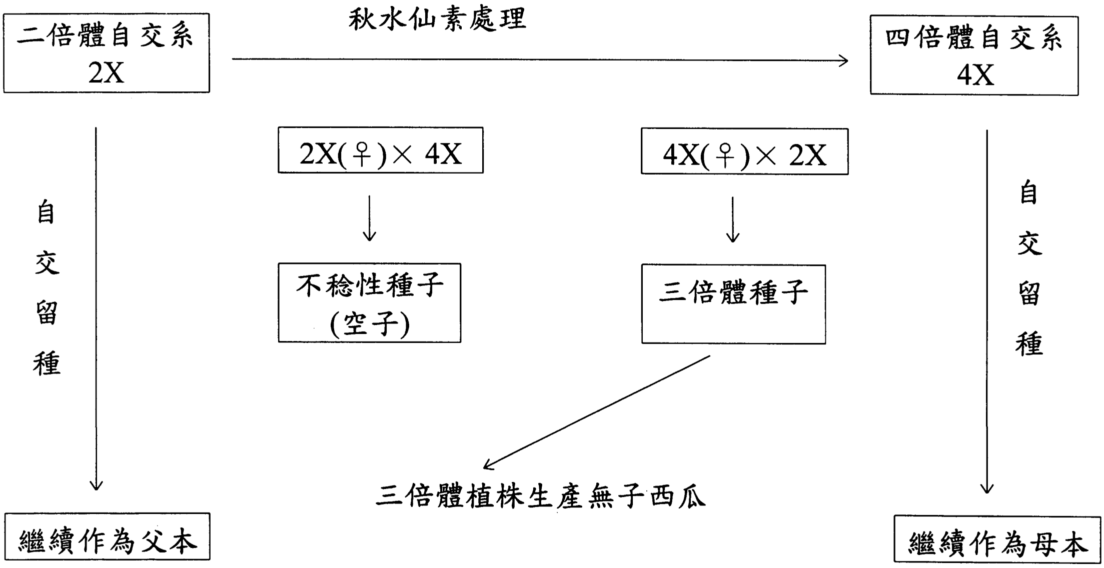


圖 1. 生產三倍體無子西瓜雜交種子之流程

二、一代雜種育種法

瓜類的一代雜種普通具有生長快速、植株強健、早熟、整齊、品質優、抗病性強及豐產等不同程度的雜種優勢（ hybrid vigor 或 heterosis ），利用雜種優勢的育種法稱為一代雜種育種法或優勢育種。瓜類因花大，不需去雄，一次授粉可獲得數十到數百粒種子，因此自 1930 代以來，就逐漸風行起來。目前西瓜、胡瓜、甜瓜、南瓜、苦瓜和絲瓜在台灣已普遍利用一代雜種，其他瓜類亦將陸續流行。一代雜交種的生產依所用親本的純度可分為品種與品種間、品種與自交系間、自交系與自交系間之雜交種，依所用自交系的數目作為雜交組合的親本，而有單交種（ single cross ）、三交種（ triple cross ）、雙交種（ double cross ），一代雜種之育成步驟茲簡述如下：

1.選育優良自交系：首先要選擇優良的自然授粉品種或雜交種等作為育成優良自交系的親本材料，則獲得優良自交系的機會較大，最好這些親本材料先經過初步品種間組合力測驗或品種比較試驗之後，才選定較有希望的數個品種為育成自交系的基礎材料。然後在選定的優良品種或雜交種中進行優良單株選拔並分別套袋自交，每一品種或雜交種內應選自交株數，視供試材料而異，一般從數株到數十株不等。最後再根據選育目標性狀進行各自交系比較，逐代行系間淘汰一部分系內普遍生長不良或無可取之經濟性狀的不良自交系。而從其餘較佳之自交系分別選取數株到數十株自交，如此一方面自交並進行淘汰，每一自交系的種植株數可隨株系數的減少而稍為增加，通常需自交 5~6 代以提高同質結合體的比率。

2.進行組合力檢定：瓜類自交系組合力的檢定方法，可以用頂交（top cross）、單交（single cross）、測交（test cross）及全互交（dialle cross）等方法，以選出最好的雜交組合及其親本。上述自交系的選育，僅根據自交系本身表現的優劣作為選擇的標準，組合力檢定即以自交系作為親本所組合的雜交種的表現作為進一步選擇之依據，從中選出最優的雜交組合。為了節省人力、物力，在眾多的自交系中，早期世代先以頂交法再次淘汰大部分一般組合力欠佳的自交系，僅選留少數自交系，再以單交、測交、全互交等方法選出雜種優勢最高的雜交組合及其親本自交系。

(1)頂交法：是以遺傳基礎較廣泛的自然授粉品種或雜交種作為父本檢定親（tester），與各個自交系雜交，由各個自交系與檢定親雜交所獲得之雜交組合的種子進行有重複之產量及其他園藝性狀之比較，以判定各受檢自交系一般組合力之優劣，作為自交系選留或淘汰的標準。進行頂交檢定若能多用幾個品種或雜交種作為檢定親，其結果應會比只用一個檢定親可靠，但需增加工作量。

(2)單交法：是將經過頂交檢定測試所選留之優良自交系，按育種目標及重要性狀的遺傳規律，進行可能之單交組合，這是用得很多，且比較省工的組合力測試方法。經過有重複之產量及其他園藝性狀比較試驗後選出雜種優勢表現最佳的單交組合，這種方法的優點是簡便易行，但有漏配最優組合的可能性。

(3)測交法：以二至三個自交系為檢定親，與受檢之各自交系進行測交，而後將所獲得之測交種組合進行有重複之田間比較試驗，依據試驗結果，分析各受檢自交系之一般組合力及其與檢定親間之特殊組合力。

(4)全互交法：這種方法可以測定一般組合力（general combining ability）及特殊組合力（specific combining ability），且能較準確地選出最優組合的方法，缺點是需要配成的組合數較多，若自交系數目很多時，則不適合。全互交法是一個自交系分別與其他所有自交系雜交，此處所稱之全互交不包括反交及自交。其組合數可由公式 $n = 1/2p(p-1)$ 來計算，式中 n 代表組合數，p 代表自交系數目。一般組合力係指數個自交系或品種相互雜交，其中每一自交系或品種與其他自交系或品種雜交所得的 F_1 組合之某一特性的平均值，通常以離均差來表示。特殊組合力則指某一雜交組合的組合力與兩親本的一般組合力之和的離差。將全互交所得之雜交組合進行田間產量比較等試驗，以選出最佳之雜交組合。

3.確定自交系間的組合方法：在選得優良雜交組合及其親本自交系後，尚需進一步瞭解各自交系的最佳組合方式，以期得到生產力最高的雜種，在可能的範圍內運用具有全雌性（gynoecious）的瓜類自交系為母本，或雌雄異花同株之甜瓜品系為母本以節省採種之成本，除外，尚需考慮下列原則，若親本自交系本身生產力差異大時，以選高產者作為母本，雙親經濟性狀差異大時，以優良性狀較多者為母本，

選擇採種量高的自交系為母本，若有苗期隱性性狀之自交系宜用為母本，方便在幼苗期淘汰非雜交種以提高種子純度，父本則應選能產生大量花粉能力之自交系或父本的開花期較母本為長，且開花期較早者。再者，根據生產一代雜交種所用之親本自交系數目，來決定生產單交種、三交種或雙交種，亦均需列入考慮。

表 11. 利用回交育種法將全雌性基因導入普通品種

Table 11. The backcross method as illustrated by the addition of the gene F for gynoecious to the monoecious cucumber.

世代	工作項目	育種過程
親本	雜交	全雌品系 × 普通品種 (非輪迴親) (輪迴親) FF ff
F_1	回交輪迴親	異質結合全雌株 × 輪迴親 Ff ff
BC_1	淘汰非全雌株（ ff ） 選拔全雌株並回交輪迴親	~~ff~~ 、Ff × ff
BC_2	同 BC_1	~~ff~~ 、Ff × ff
BC_3	同 BC_1	~~ff~~ 、Ff × ff
BC_4	同 BC_1	~~ff~~ 、Ff × ff
BC_5	同 BC_1	~~ff~~ 、Ff × ff
BC_6	選拔全雌株並自交，淘汰非全雌株。	~~ff~~ 、Ff ↓ ⊕
BC_6F_2	全雌株以約 250ppm 之硝酸銀處理，誘致產生雄花，分別單株自交。	FF 、Ff、~~ff~~ ↓ ⊕ ↓ ⊕
BC_6F_3	單株自交後裔檢定，調查各單株後裔之花性是否分離，若會分離表示其親代為異型結合全雌株，應予淘汰。	FF ， FF 、Ff 、ff 不分離 會分離產生非全雌株

重要成就

一、西瓜

1.抗蔓割病育種：

育成抗病品種為西瓜過去最重要的成就，其中尤以抗蔓割病及炭疽病育種成果最為顯著。西瓜蔓割病，也叫西瓜萎凋病，是西瓜最具破壞性的一種病害，最明顯病徵是全株葉片萎凋，最後整株死亡，本病由鐮胞菌為害所引起，病原名稱為 *Fusarium oxysporium F.* sp. *niveum*，可經由土壤或種子傳播。台灣過去一直以扁蒲或南瓜為砧木嫁接西瓜，最近有人以抗病西瓜作砧木嫁接西瓜為主要防治對策，但因扁蒲或南瓜砧木會影響西瓜品質，並且嫁接也增加生產成本，栽培抗蔓割病品種才是永久之計。美國農部的 W. A. Orton 原是一位植物病理學家後來轉為作物育種家，他首先提出西瓜抗蔓割病可以從不能吃的野生種轉移到園藝性狀良好的西瓜栽培品種上。不能食用但對蔓割病有抗性的半野生西瓜－ Citron 和感病的栽培品種 Eden 雜交，其 F_1 生長勢特別旺盛且對蔓割病有抗性，F_2 及其高級世代經抗性檢定及選拔，在 1911 年選育具有高度抗病性且園藝性狀不太差的品種－Conqueror，不幸的是 Conqueror 的園藝性狀並不能讓消費者滿意，雖然如此，但也導致美國種植西瓜各州的農業試驗場開始以育成抗蔓割病的西瓜品種為主要育種目標，同時也開啟了經由野生種轉移抗病性到商業品種的大門。美國西瓜蔓割病的問題雖不能說完全解決，但至少已有相當程度的進展。此後在愛俄華、佛羅里達及加州的西瓜抗蔓割病育種材料，已廣被應用在其他地區的抗病育種上。如 Iowa Belle,Charleston Gray 及 Jubilee 即有 Conqueror 之血統。而愛俄華試驗場將原來不抗病的 Kleckley Sweet 品種在發生蔓割病嚴重的西瓜田，選拔了抗病的 Kleckley Sweet，此後育成的 Leesbury, Charleston Gray, Jubilee, Taxas W5 及 Florida 124 都帶有 Kleckley Sweet 的血源。1936 年自澳洲引進的 Hawkesbury 為一抗蔓割病很強的商業品種，由於此一品種之引入美國，而育成了 Texas W5 和 Florida 124 進而育成目前抗病性最強之 Galhoun Gray 及 Summit。其他之抗病品種如 Sugarlee, Dixielee, Smokylee, Charlee, Minilee, Mickylee 及 SSDL 等都有 Texas W5 之血統。Dixielee 之育成過程，請見圖 2.。

2.抗炭疽病育種：

另一個西瓜之重要病害為炭疽病（ anthracnose ），病原為 *Glomerella lagenaria*，此一病害在高濕地區特別嚴重。抗病材料來自非洲，其中 African 8 抗 race 1 及 race 3， African citron W-695 抗 race 2，這些抗病材料與商業品種雜交後，F_1 均呈抗病，顯示抗病性為顯性，已育成的抗病品種有 Congo 、 Fairfax 、 Charleston Gray 等。而 Congo 及 Charleston Gray 抗 race 1 及 race 3，由於 Charleston Gary 具抗炭疽病特性，二十多年來在美國一直為最受歡迎的西瓜主要栽培品種。

3.無子西瓜育種：

三倍體無子西瓜是日本遺傳學家，京都大學的木原均（H. Kihara）教授首先在 1939 年提出，但是因為三倍體無子西瓜種子昂貴，並且發芽困難，必須特別照顧，因此無子西瓜在美國及日本並未普遍生產。民國五十年台灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所首先育出鳳山一號三倍體無子西瓜推廣，本品種生長強健，結果力極強，產量很高，一公頃產量有高達九萬公斤者。屬中晚熟，果型近球型，果重達 6~8 公斤，最大可至 12 公斤，瓤色深紅，糖度可達 13 ^{0}brix ，白色秕少而小，品質極優良，推廣後甚受農民及消費者歡迎，也曾大量外銷香港、新加坡等地，為當時主要外銷的西瓜品種。目前國內私人種苗公司育成的無子西瓜品種甚多。

4.另外，農友種苗公司在 1973 年育成之西瓜品種金蘭，於 1974 年全美園藝新品種比賽大會（All-American Selection）獨獲西瓜銅牌獎，為本省蔬菜品種第一次在國際大賽中得獎。此品種生長強健，適合各種土壤栽培，結果力強，產量豐高，早熟，果實球型或微長，果重 3 公斤，果皮極薄，瓤肉黃金色，脆爽細緻，汁多無渣，糖度達 11~13 ^{0}brix ，種子少。農友種苗公司育成之黃皮紅肉的品種'實冠'，在 1991 年全美園藝新品種大賽中再度獲得優勝獎，此一成就震撼西瓜育種界，本品種對炭疽病、白粉病及病毒病（WMV-2）之抗病性強，結果很早，成熟期亦早，結果力很強，果皮金黃色，呈橢圓形，果重約 2.5 公斤左右，糖度 12 度左右，肉質細爽多汁，種子小而不多，果皮薄而硬，相當耐運輸。此外其他私人種苗公司育成之各種西瓜品種，成果極為顯著，種子並大量外銷。

二、胡 瓜

1.抗病毒病育種：

1926 年 R.H Porter 最先發現 Chinese Long 對胡瓜嵌紋病毒(Cucumber mosaic virus, CMV)具有抗性。後來， Doolittle 等人報告說日本品種 Tokyo Long Green 對 CMV 也有抗病性。但首先成功的利用這些抗病材料育成適合在美國栽培的胡瓜品種是康乃爾大學作物育種系的 H. M. Munger 博士(圖 3.)。他不僅育成了 Tablegreen 及 Marketmore 系列的鮮食用品種，他亦將選育適合加工的抗病品系轉送給俄亥俄州立大學的研究人員，俄亥俄州立大學育出 Ohio MR17 及其它相關品系。這些俄亥俄州立大學育成的品系後來又作為威斯康辛大學植物病理學系的 J.C.Walker 育成 SMR18 及其它抗病品系的材料。這些抗病毒病加工品種的育成，確實拯救了 1950 年代威斯康辛州及密西根州的加工胡瓜產業。威斯康辛大學的品系再度被密西根州立大學用來育成具有抗病毒病及全雌性的品系，並以此品系用作生產一代雜交種之親本。此後威斯康辛品系又被 Clemson 大學的 W.C.Barnes 用來育成抗多種病害的胡瓜品系。 Clemson 大學所育出的 GY14 是一具有廣泛適應性且同時對南方及北方重要胡瓜病害有抗性的全雌性品系。另一個很典型的例子是 Clemson 大學過世的 W. C. Barnes，利用自外國所引進材料作為抗病品種的選育，他自印度的種原（PI 197087）成功的轉移抗炭疽病和露菌病的特性到加工及鮮食的胡瓜商業品種中。

2.抗露菌病育種：

露菌病（ Downy mildew ）為胡瓜栽培最主要病害之一，在高濕而溫和的氣候條件下尤為嚴重，世界各胡瓜產區均普遍發生，由於露菌病在美國大西洋沿岸各州相當嚴重， Cochran (1937)利用印度一個品種Bangalore與一些Slicing及Pickling品種雜交，在 F_2 發現有與親本相同抗病程度之後代。南卡州農業試驗場的 Tenkins 發現 China 及 Puerto Rico 37 具有高抗性，經與感病品種雜交， F_1 之抗病性介於兩親中間，在 F_2 得一些抗病株。 Barnes 等繼續此項工作，在 1948 年推出 Palmetto 品種，除具抗露菌病外亦有良好之商業性狀。 Palmetto 係抗病品種 Puerto Rico 40 和感病品種 Cubit 雜交經八代的選拔所獲得對露菌病有高抗性且具優良園藝特性的品種，抗病性由數對遺傳基因所控制，其他商業品種，中抗的有 Santee ， Ashley 等品種，高抗品種有 Poinsett ，此外， Tablegreen 86 ， Marketmore 76 等亦有抗病性。

3.抗黑星病育種：

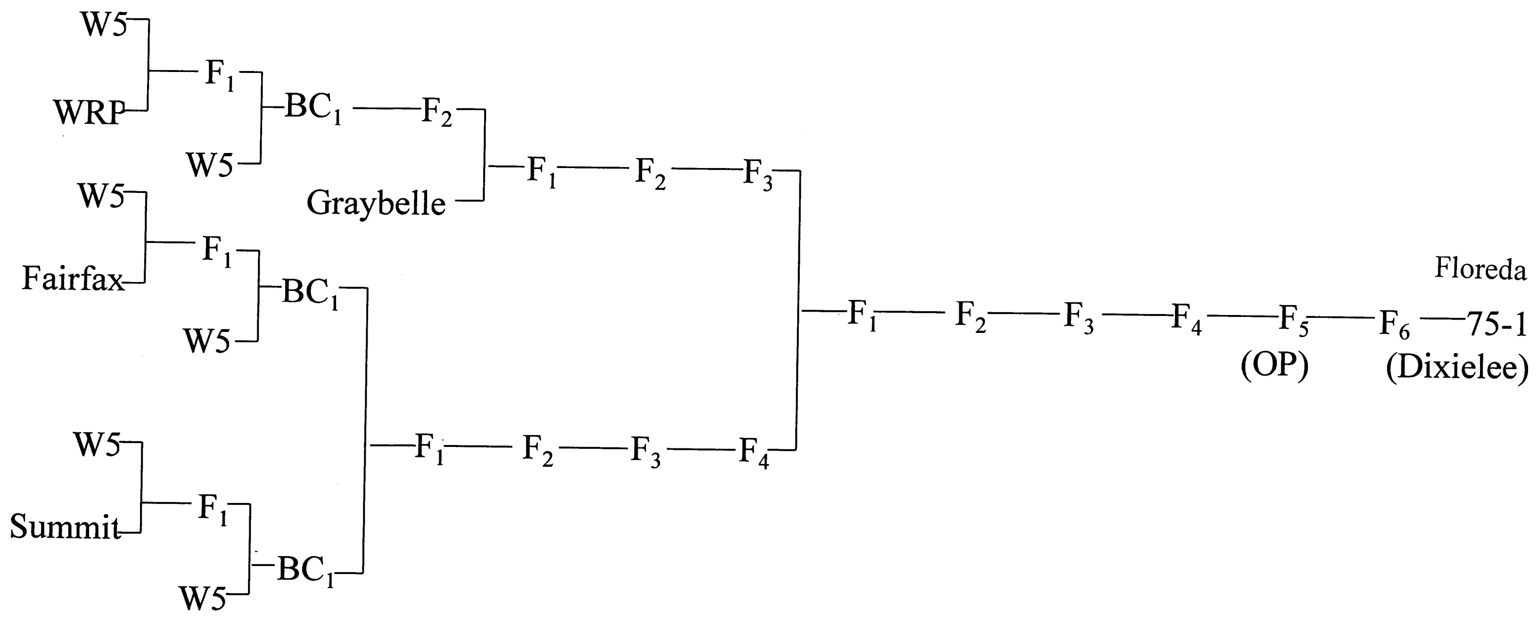
黑星病（ Scab ）在美國北部各州及加拿大和歐州西北部的國家極嚴重，在冷涼多霧之氣候較易發生。 Bailey 等人(1935)在篩選二十幾個品種中，發現 Longfellow 的一些單株有抗性，經自交後認為抗病性係單一顯性。 Bailey 在 1938 年及 1947 年育成兩個抗病品種 Maine 2 及 Highmore 。 Highmore 係 Longfellow 雜交 Chicago Pickling 後再與 Straighe-8 雜交並經兩次回交 Straighe-8 而選得。 1953 年 Walker 育成兩個抗病的 Pickling 品種， Wisconsin SR 6 及 Wisconsin SR 10 ，此兩品種係抗病之 Maine 2 和感病之 National Pickling 雜交後再回交 National Pickling 所選出。 1954 年 Walker 等又選育二個抗 Scab 及 CMV 的加工品種 Wisconsin SMR 9 及 Wisconsin SMR 12 。 1958 年 Walker 再育成 SMR 15 及 SMR 18 ，其果型及株型均較 SMR 9 及 SMR 12 為佳，其他抗病品種有 Marketmore 、 Tablegreen 65 、 Poinsett 76 、 SR 551 ，日本之品種如加賀節成、雙羽節成均為抗病品種。

4.全雌性胡瓜育種:

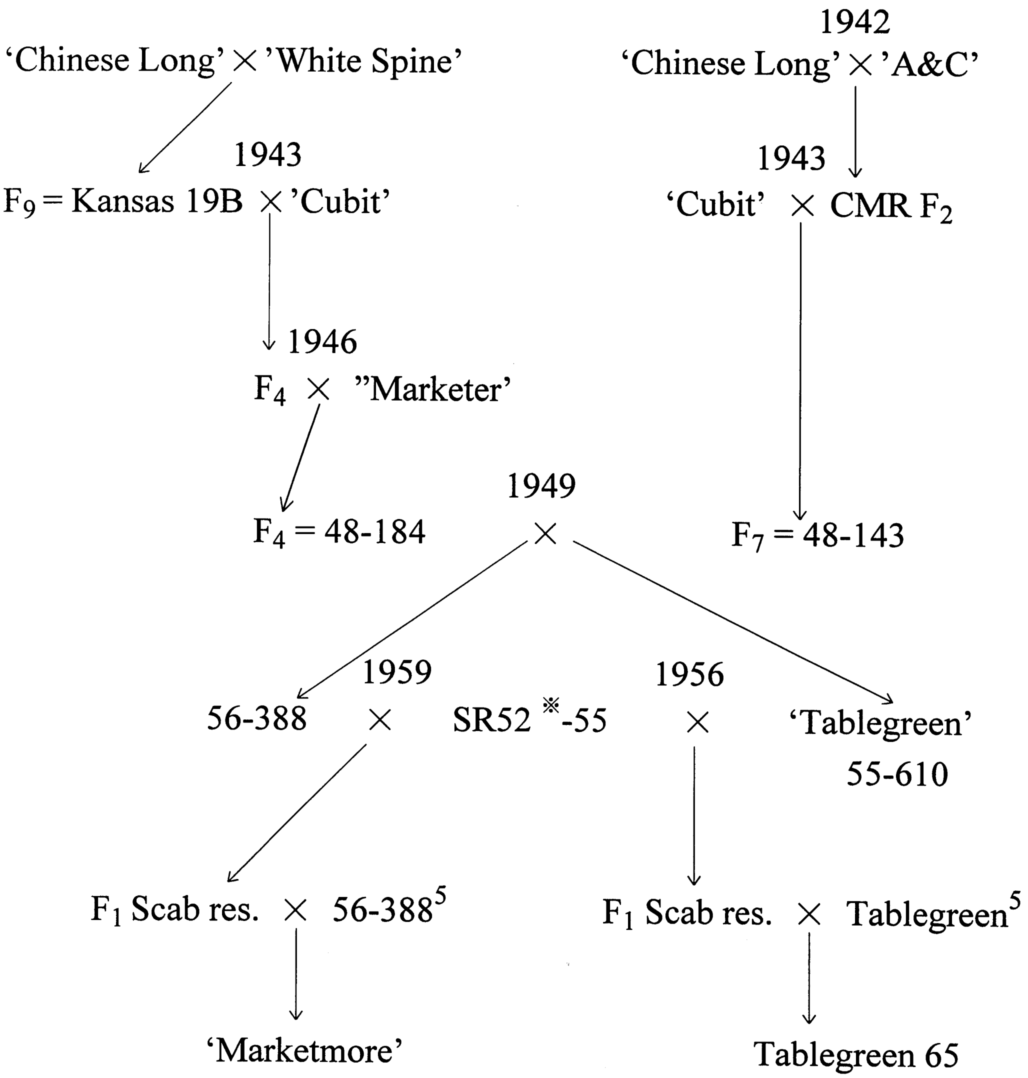
1954 年康乃爾大學 Geneva 試驗場的 D. Dolan 請一批來訪的植物育種家注意來自韓國的胡瓜品種 Shogoin （ PI 220860 ）族群中，有一些植株具有完全開雌花或雌性很高的特性。從 Shogoin 的這些材料中選到一高雌性的單株，在 1954 年冬天於密西根州立大學的溫室內將此一高雌性單株與 Wisconsin SMR18 雜交。經過連續的選拔及回交，終於在 1960 年育成一個全雌性品系 MSU-713-5 。此一全雌性品系被利用作為生產第一個加工胡瓜一代雜交種—Spartan Dawn 之母本。 MSU-713-5 在 1966 年被 Clemson 大學用為親本育成 GY 3 。 MSU-713-5 及 GY 3 這兩個全雌胡瓜品系在美國廣被利用為育成一代雜交種之親本。自此兩品系育成之後，美國的私人種苗公司及政府機關或國外之植物育種家均集中精力開發各類胡瓜一代雜交種的生產。由於加工胡瓜機械採收機研發成功，於是加快加工胡瓜一代雜交種被產業接受的速度，因為胡瓜一代雜交種具有早生，且著果集中，適合機械採收，在 1975 年加工胡瓜機械採收所採用的品種幾全為一代雜交種，在密西根約佔 92％ ，其他各州也快速增加中。全雌性胡瓜育種方法，請參見表 11.。

圖2. 西瓜抗蔓割病品種Dixielee之育成圖（After Crall and Elmstrom, 1979）

Year pollinated: Spring 1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Year grown : Fall 1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974



Graybelle: anthracnose resistance
Fairfax : anthracnose resistance
Summit : high-type wilt resistance
WRP : intense red color, firm flesh, and tough rind
W5 = Texas W5 : high-type wilt resistance.



※'Highmoor' × 48-143 4 × 48-189 3

圖 3. 康乃爾大學育成之抗胡瓜嵌紋病毒(CMV)品種之系譜

參 考 文 獻

1.王堅、蔣有條、林德佩、黃傳賢　1993　西瓜栽培與育種　農業出版社　北京

2.中國農業科學院蔬菜研究所　1987　中國蔬菜栽培學　農業出版社　北京.

3.西南農業大學　1988　蔬菜育種學(第二版)　農業出版社　中國北京.

4.朱耀沂、葉瑩、蕭文鳳、陳秋男　1995　瓜類作物保護技術研討會專刊　國立嘉義農專植物保護科編印　台灣嘉義

5.李伯年　1982　蔬菜育種與採種　茂昌圖書有限公司印行.

6.杜金池、蕭吉雄、楊偉正 1990 園藝作物育種講習會專刊 台灣省農業試驗所專刊第 31 號

7.杜金池、蕭吉雄、楊偉正 1993 台灣蔬菜產業演進四十年專集 台灣省農業試驗所專刊第 36 號

8.周長久 1996 現代蔬菜育種學 科學技術文獻出版社 北京.

9.郁宗雄 1971 無子(三倍體)西瓜生產之理論與實際 科學月刊 2(5):11~13.

10.郁宗雄 1975 台灣西瓜育種成果 科學農業 23(3.4)197~205.

11.新疆甜瓜西瓜資源調查組 1985 新疆甜瓜西瓜志 新疆人民出版社 中國烏魯木齊

12.農友種苗股份有限公司 1995 1995 年海峽兩岸西瓜甜瓜育種研討會專刊 高雄

13.臺灣省政府農林廳 1991 蔬菜作物育種程序及實施方法 台灣南投

14.竹崎喜德、神田武 1934 西瓜品種改良事業成績 奈良縣立農事試驗場 p1~10.

15.Anonymity 1985. Gene list for cucumber. Cucurbit Genetics Cooperative. 8:86~96.

16. Anonymity 1987. Gene list for watermelon. Cucurbit Genetics Cooperative 10:106~110.

17.Bassett, M.J 1986. Breeding Vegetable Crops. The AVI Publishing Comp. INC., Westport, Connecticut. U.S.A.

18.Bates, D.M. and R.W. Robinson, 1990. Biology and Utilization of the Cucurbitaceae, Cornell University Press, Ithaca, NY.

19.Currence, T.M. Vegetable Crops Breeding. Teaching Manual. University of Minnesota.

20.Dunlap, J. and G. Lester, 1994. International Symposium on Cucurbitaceae '94' : Evaluation and Enhancement of Cucurbit Germplasm. South Padre Island, TX. USA.

21.Galun.E, 1973. The use of genetic sex types for hybrid seed production in Cucumis. In: Moor. R. (ed). Agricultural Genetics. John Wiley and Sons, N.Y.

22.Henderson, W.R. 1991. Gene list for watermelon. Cucurbit Genetics Cooperative 14:129~137.

23.IBPGR 1983. Cenetic Resources of Cucurbitaceae. IBPGR. Rome.

24.Kalloo, G. and B.O. Bergh. 1993. Genetic Improvement of Vegetable Crop. Pergamon Press. New York, U.S.A.

25.Kihara. H. 1951. Triploid watermelons. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 50:217-230.

26.Kubicki. B. 1970. Cucumber hybrid seed production based on gynoecious lines multiplied with the aid of complimentary hermaphroditic lines. Genet. Pol. 11:181~186.

27.Kyle, M.M. 1993. Resistance to Viral Diseases of Vegetables; Genetics and Breeding. Timber Press, Inc. Portland, Oregon.

28.Parris, G.K. 1949. Watermelon Breeding. Econ. Bot. 3:193~212.

29.Peterson, C.E. 1975. Plant introduction in the improvement of vegetable cultivars. HortScience 10(4):575~579.

30.Peterson, C.E. and J.L. Weigle. 1958. A new method for producing hybrid cucumber seed. Michigan Quarterly Bulletin. Vol. 40. No 4.

31.Pierce, L.K. and T.C. Wehner 1989. Gene list for cucumber. Cucurbit Genetics Cooperative 12:91~103.

32.Porter, D.R. 1933. Watermelon Breeding. Hilgardia 7(5):585~624.

33.Rhodes, B. and X. Ehang 1995. Gene list update for cucumber. Cucurbit Genetics Cooperative 16:92~97.

34.Robinson, R.W., H.M. Munger, I.W. Whitaker. and G.W. Bohn. 1976. Genes of the cucurbitaceae. HortScience. 11:554~568.

35.Sitterly, W.R. 1973. Cucurbits: In R.R. Nelson (ed.). Breeding Plants for Disease Resistance. p287~306. The Pennsylvania Stata University Press. University Park. Penn.

36.Tolla, G.E. and C.E. Peterson. 1979. Comparison of gibberellin A4/A7 and silver nitrate for induction of staminate flowers in a gynoecious cucumber line. HortScience. 14:542~544.

37.Wehner, T.C. 1988. Survey of cucumber breeding methods in the U.S.A. Cucurbit Genetics Cooperative 11:9~12.

38. Wehner, T.C. 1993. Gene list update for cucumber. Cucurbit Genetics Cooperative 16:92~97.

39.Wehner, T.C. and J.E. Staub 1997. Gene list for cucumber. Cucurbit Genetics Cooperative 20:66~88.

40.Whitaker, T.W. and G.N. Davis. 1962. Cucurbits – Botany, Cultivation and Utilization. Interscience Publishers, Inc., N.Y.

洋香瓜育種

黃賢良、王仕賢
台南區農業改良場

植物學分類及起源

洋香瓜(*Cucumis melon* L.)，英名muskmelon、cantaloupe、melon，為葫蘆科一年生草本植物。洋香瓜與胡瓜為胡瓜屬(*Cucumis*)中最具經濟價值的作物。Jeffrey在1980年將胡瓜屬依染色體數目分成2個亞屬：(1)黃瓜亞屬，n=7，(2)甜瓜亞屬，n=12，約25個種。1993年kirbride將甜瓜亞屬分成30個種。林德佩(1995)建議將甜瓜植物不論其起源，野生或栽培種全歸為一個種，種下按進化程度劃分成亞種。有的亞種下按生態地理起源的不同和成熟期早晚細分為變種。依其分類，甜瓜種下可分為5個亞種，8個變種：

亞種1. 野甜瓜：ssp. *agrestis* (Naud) Greb.

亞種2. 香　瓜：ssp. *dudaim* (L.) Greb.

亞種3. 蛇甜瓜：ssp. *flexuosus* (L.) Greb.

亞種4. 薄皮甜瓜：ssp. *conomon* (Thunb.) Greb.

　變種1. 越瓜：var. *conomon.*

　變種2. 梨瓜：var. *chinensis* (pang.) Greb.

亞種5. 厚皮甜瓜：ssp. *melo.*

　變種3. 阿達納甜瓜：var. *adana* (pang.) Greb.

　變種4. 卡沙巴甜瓜：var. *cassaba* (pang.) Greb.

　變種5. 粗皮甜瓜：var. *cantaloupensis* (pang.) Greb.

　變種6. 瓜旦甜瓜：var. *chandalak* (pang.) Greb.

　變種7. 夏甜瓜：var. *ameri* (pang.) Greb.

　變種8. 冬甜瓜：var. *zard (pang.)* Greb.

林氏的分類方法將新疆的原產栽培品種全歸為厚皮甜瓜亞種。其分類方法或許對大陸地區種源收集有所助益。目前國際上仍以Naudin的分類方法較為普遍，將甜瓜種分為8種：

1. var. *cantaloupensis* Naud. 粗皮甜瓜，歐洲早期栽培種。
2. var. *reticulatus* Naud. 網紋甜瓜，美洲早期主要栽培種。
3. var. *inodorus* Naud. 光皮甜瓜，晚熟，耐貯藏。
4. var. *flexuosus* Naud. 蛇甜瓜或菜瓜。
5. var. *conomon* Mak. 越瓜，日人牧野氏將其有甜味者分為albida，flava及makuwa三變種。
6. var. *chito* Naud. 檬果瓜，果肉酸，觀賞用。

7. var. *dudaim* Naud. 石榴甜瓜，果皮有細毛，有香味。

8. var. *saccharinus* Naud. 哈密瓜。

甜瓜的起源也是眾說紛云，De Candolle (1882) 認為甜瓜的起源地應是非洲，因為從幾內亞境內的奈及爾河畔 (Niger) 之村落可找到甜瓜的原始種。第二原始中心為印度、伊朗、蘇聯南部及中國。Whitaker和Bohn (1954) 依甜瓜對炭紋病毒之忍受性，認為越瓜可能在中國及韓國地區演化選育而成的亞種。此外，許多甜瓜的抗病種原均來自印度，可見次中心的遺傳變異極大。Dane (1983) 用同位酶 (isozyme) 去檢測非洲與印度地區的種源變異性，發現印度地區的種源變異性較高。

洋香瓜遺傳資料

瞭解控制作物性狀表現的遺傳行為是作物育種的首要工作之一，有關洋香瓜遺傳基因之研究報告，可由瓜類遺傳協會會報 (Cucurbit Genetics Cooperative) 或其他遺傳育種期刊彙集。目前瓜類遺傳協會會報已可在網際網路上查閱，其地址為http://probe.nalusda.gov:8000/otherdocs/cgc/melon.htm，由此網址可查得甜瓜的基因表，目前最新的基因表刊在第17期 (1994年) 第135 頁到147頁。此基因表收列了111個基因，其中有16個為同功異構酶基因，今依其型態、花性、抗病蟲害及果品簡列為表一。這些型態或抗病基因的遺傳行為都是育種時不可或缺的基本資料，此外某些型態基因可作為品種鑑定之用[3]。

育種技術

洋香瓜之自交弱勢並不明顯，但其雜種優勢在產量及果實品質等性狀均有不俗表現。因此早期的洋香瓜品種多為固定品種，目前之商業品種則以一代雜交種為主。一代雜交種之育成，必須先培育優良之自交系，而其育種方法多為譜系法或回交法。

洋香瓜之花性變化多，有雄花、雌花及兩性花三種，但有時雄花與兩性花同株 (andromonoecious)、全雌 (gynoecious)或雌雄同株異花 (monoecious)。無論自交或異交授粉，均需注意花粉純度問題，如果無法控制昆蟲之干擾，雌花或去雄的兩性花可在授粉前一天套袋，次日清晨在蜜蜂尚未授粉前以新鮮的雄花授粉。授粉後雌花或兩性花必須再套袋，以防其他花粉。每一雜交或自交之果實可得250~300粒種子。

洋香瓜遺傳控制基因可依其遺傳行為決定育種方法，如大部分之抗病蟲基因為顯性，利用雜交育種方法，可快速獲得抗病的一代雜交品種，或者利用回交育種法將某一單一基因控制的性狀導入優良品種。依地區之生產特性，育種的最終產物可能為一代雜交品種或自然授粉的固定品種[4,14]。如日本洋香瓜依栽培作型及系統來源可分為溫室型、露地型、冬甜瓜型及東方甜瓜型，都朝向高級品質

的一代雜交品種[4]。美國則注重抗病性、豐產，可機械採收之品種發展，品種為自然授粉的固定品種較多。

洋香瓜的品質及產量均只能在開花結果後評估，如能在開花授粉前選拔目標性狀，可增加選拔效果。近年來，分子標記如同功異構酶、DNA限制內切酶譜多形性(RFLPs)及逢機增殖核酸多形性DNA(RAPD)等遺傳標記已被利用於選拔及品種鑑定。這些分子標記均可在幼苗期判定其標記之基因型，利用標記與目標性狀基因之連鎖關係，便可選拔標記基因型達到間接選拔的效果。舉例來說，如果綠色果肉基因與某一分子標記緊密連鎖，我們便可在苗期判定果肉顏色，如此選拔族群便可擴大。由於甜瓜的基因連鎖圖譜不像番茄或玉米已有不少的傳統型態、生理遺傳標記去涵蓋整個基因組，已有不少的研究[12,14,16,21]利用大量的分子標記去標定整個基因組，進而建立完整的連鎖基因圖。完整且緊密的基因連鎖圖不僅可標定分子標記與目標基因之連鎖程度，而且可以把數量性狀有關的基因塊標定出來，如此可標定一些重要的數量性狀如品質、產量及耐逆境等，有助於育種改良上之應用。

抗病育種是瓜類育種的重要項目之一。瓜類作物在本省幾乎周年均可生長，病蟲害種類複雜，為瓜類生產的主要限制因子[9]。由於病原的生理小種極多，抗病基因也需要不斷地篩選，如白粉病、露菌病及蔓割病等之抗病基因都具有專一性，即抗病基因只能對某些生理小種產生抗性。鑑定病原的生理小種必須由植病人員採集分離及鑑定，或者以不同的抗病材料做為指示植物。抗病種原以野生甜瓜或其近緣種[2,9]中獲得，甜瓜可在其亞屬內相互雜交親和，因此不少抗病種原來自野生近緣種。以洋香瓜抗蔓枯病為例[6]，PI 140471之果重只達0.4公斤，糖度5.3Brix，利用其為抗病種原獲得之四個自交系之平均果重達2公斤，平均糖度12.8度；另以已經改良之固定品種chilton為材料，為美國網紋洋香瓜PMR45之改良品種，成熟果重1.0~1.5公斤，由此抗病材料所獲得之二個優良自交系平均果重2.2公斤，平均糖度11度[6]。由此兩抗病材料所獲得之抗病性均強，抗蔓枯病純度已達72%以上。如再以這些自交系再與抗白粉病自交系雜交，便可獲得既抗蔓枯病，也抗白粉病的一代雜交洋香瓜。

新的病害如黃蔓病[21](Yellow vine)及蚜播黃化病毒(Cucurbit Aphid Borne Yellows Luteovirus, CABYV)已被發現在洋香瓜植株，據Dogimont等人之報告(1997)，已在PI 124112上找到抗CABYV之基因，而此抗病性是由兩個隱性互補基因cab-1及CAB-2所控制。由表一之基因表中，PI 124112也擁有兩個抗白粉病基因Pm-4及pm-5。由此可知，野生材料可能擁有未來抗病育種的基因，是抗病育種不可或缺的種原。

結　論

洋香瓜為原產熱帶地區的重要經濟果菜，但歐美及日本等溫帶國家之洋香瓜育種也有很好的成績(4)。對岸的中國在1970年至1980年間引進抗病及高糖品種，改善了新疆地區的甜瓜品種，在1990年代的育種目標則是耐濕、抗病及早熟，已提供大陸南方栽種。由此可見，熱帶及亞熱帶的洋香瓜育種上有發展空間，未來如何整合產官學，集思廣益地研商洋香瓜育種策略，才能迎接未來的挑戰。

表1. 甜瓜遺傳基因表 (摘自pitrat, 1994)

類 別	基因符號*	性　　狀
型態	ab	abrachiate 無側枝，與花性基因a和g交互作用。
〃	Ala	Acute Leaf apex 尖形葉尖，對鈍形葉尖為顯性。
〃	Al-1	Abscission layer-1 離層基因。
〃	Al-2	Abscission layer-2 離層基因。
〃	$Ap\text{-}1^1$	Acid phosphatase-1^1 酸性磷酸酶，共顯性之同位異構酶標誌。
〃	$Ap\text{-}1^2$	Acid phosphatase-1^2 $Ap\text{-}1^1$之對位基因。
〃	bd	briittle dwart，叢生狀生長且葉片厚。
〃	Bi	Bitter. 幼苗有苦味。
〃	cl	curled leaf. 捲葉。
〃	dl	dissected leaf. 葉高度鋸齒狀。
〃	dl^V	dissected leaf Velich. 鋸齒狀葉。
〃	dlet	delayed lethal. 生長遲緩，葉片有壞死斑點並且植株夭折。
〃	dl-2	dissected leaf-2. 鋸齒狀葉。
〃	f	flava. 黃化突變，生育緩慢。
〃	fas	fasciateo. 束狀莖。
〃	fe	fe inefficient mutant.葉黃化但葉脈綠色，加鐵可恢復。
〃	gl	glabrous. 無刺毛。
〃	gp	green petals. 綠花瓣。
〃	gyc	greenish yellow corolla. 花冠黃綠色。
〃	Gs	Gelatinous sheath around the seeds. 種子外部有果膠。
〃	h	halo cotyledons. 子葉上有黃色暈輪，逐漸轉綠。
〃	L	Lobea leaf. 葉分瓣，與Ala連鎖。
〃	lmi	long mainstem internode. 主蔓節間長，側蔓正常。
〃	Mca	Macrocalyx. 雄花及兩性花之大型葉狀花萼。
〃	ms-1~ms-5	male sterile. 目前已有5個雄不稔基因。
〃	n	nectarless. 無蜜腺。

〃	P	pentamerous. 心皮及雄蕊數目為5。
〃	Pa	Pale green foliage. PaPa植株為白色(致死); PaPa^{+}為黃色。
〃	Pgd-1^{1}	Phosphoglucodehydrogenase-1^{1}.磷酸葡萄糖酸脫氫酶與Pgd-1^{2}為共顯性記。
〃	Pgd-1^{2}	磷酸葡萄糖酸脫氫 。
〃	Pgi-1^{1}	Phosphoglucoisomerase-1^{1}. 磷酸葡萄糖異構酶。
〃	Pgi-1^{2}	磷酸葡萄糖異構酶。
〃	Pgi-2^{1}	磷酸葡萄糖異構酶。
〃	Pgi-2^{2}	磷酸葡萄糖異構酶。
〃	Pgm-1^{1}	Phosphoglucomutase-1^{1}. 磷酸葡萄糖轉位酶。
〃	Pgm-1^{2}	磷酸葡萄糖轉位酶。
〃	Px-1^{1}	Peroxidase-1^{1}. 過氧化酶。
〃	Px-1^{2}	過氧化酶。
〃	Px-2^{1}	過氧化酶。
〃	Px-2^{2}	過氧化酶。
〃	r	red stem. 莖紅色。
〃	s	suture. 果柄有葉脈痕。
〃	Sfl	Subtended floral leaf. 兩性花之托葉無柄且小。
〃	si-1	short-internode-1. UC Topmark bush之短節間基因。
〃	si-1	在Persia 202 之短節間基因。
〃	si-3	在Maindwarf之短節間基因。
〃	Skdh-1^{1}	Shikimate dehydrogenase-1. 莽草酸脫氫酶。
〃	Skdh-1^{2}	Shikimate dehydrogenase. 莽草酸脫氫酶。
〃	st	stripea epicarp. 果皮有條斑。
〃	v	virescent. 子葉及胚軸乳白色、幼葉黃色。
〃	v-2	virescent-2. 幼葉黃色。
〃	yg	yellow green leaves. 黃綠葉色，葉綠素少。
〃	ygW	yellow green Weslaco. Yg之對位基因。
〃	yv	yellow virescence. 子葉淡綠，幼葉，捲鬚黃綠色，老葉恢復正常綠色。
〃	yv-2	yellow virescence-2. 幼葉黃綠色，老葉恢復正常。
花性	a	andromonoecious. 多為雄性花，兩性花少。
〃	g	gynomonoecious. 多為雄性花，兩性花少。

〃	gy	gynoecious. 全雌花。
抗病蟲	Ac	Alternaria cucumerina resistance. 抗葉枯病(在MR-1)。
〃	Af	Aulacophora foveicollis resistance. 抗南瓜紅色甲蟲。
〃	Ag	Aphis gossypii tolerance. 耐棉蚜，種原PI414723。
〃	cb	cucumber beetle resistance. 抗黃守瓜。
〃	dc-1	dacus cucurbitae-1. 抗甜瓜果實蠅，與dc-2為互補隱性基因。
〃	dc-2	dacus cucurbitae-2. 抗甜瓜果實蠅。
〃	Fn	Flaccida necrosis. 抗EYMV "F"病原型病毒之半顯性基因。
〃	Fom-1	Fusarium oxysporum f.sp.melonis resistance.抗蔓割病race 0和2。
〃	Fom-2	抗蔓割病生理小種0及1，但不抗生理小種2及1、2。
〃	Fom-3	抗蔓割病如Fom-1，但兩基因獨立分離。
〃	Mc	Mycosphaerella citrullina resistance. 對蔓枯病具高抗性，種原為PI 140471。
〃	Mc-2	抗蔓枯病，中抗，種原為C-1和C-8。
〃	Nm	Necrosis with Morocco strains of WMV 對西瓜嵌紋病毒Morocco系統產生細胞壞死。
〃	nsv	Melon necrotic spot virus resistance. 抗壞死斑點病毒。
〃	Pc-1	Pseudoperonospora cubensis resistance. 抗露菌病，與Pc-2為兩個不完全顯性之互補基因。
〃	Pc-2	抗露菌病，原始種原為PI 124111。
〃	Pc-3	對露菌病具部分抗性，種原為PI 414723。
〃	Pc-4	抗露菌病，與Pc-1或Pc-2產生基因上位性。
〃	Pm-1	Powdery mildew resistance 抗白粉病race-1，來自PMR45。
〃	Pm-2	與Pm-1有交互作用，抗race-2，來自PMR5。
〃	Pm-3	抗白粉病race-1，來自PI 124111。
〃	Pm-4	抗白粉病，來自PI 124112。
〃	Pm-5	抗白粉病，來自PI 124112。
〃	Pm-6	抗白粉病race-2，來自PI 124111。
〃	Pm-E	抗Erysiphe cichoracearum 所引起之白粉病，與Pm-G有交互作用，來自PMR5。
〃	Pm-F	與Pm-G有交互作用，來自PI 124111。
〃	Pm-G	抗白粉病。
〃	Pm-H	抗Erysiphe cichoracearum 之白粉病，但對Sphaerotheca fuliginea引起之白粉病感病，來自Nantais oblong。
〃	Pm-w	抗白粉病race2，來自WMR29。
〃	Pm-x	抗白粉病，來自PI 414723。

〃	Prv^1	Papaya Ringspot Virus resistance 抗木瓜輪點病毒W系統，來自PI 180280，對Prv^2為顯性。
〃	Prv^2	抗木瓜輪點病毒，與Prv^1同基因座，來自PI 180283，對Prv^+為顯性。
〃	Vat	Virus aphid transmission resistance 抗棉蚜傳播之病毒，來自 PI 161375。
〃	Zym	Zucchini Yellow Mosaic Virus resistance 抗夏南瓜黄化嵌紋病毒0系統，來自PI 414723。
果品	Bif	Bitter fruit 幼果有苦味。
〃	gf	green flesh color 綠色果肉，對鮭紅色為隱性。
〃	jf	juicy flesh 果肉多汁。
〃	Me	Mealy flesh texture 果肉軟，對脆果肉為顯性。
〃	Mt	Mottlea rind pattern 果皮有斑紋，對單一色皮為顯性。
〃	Mu	Musky flavour (olfactory) 果香味，對淡果香味為顯性。
〃	O	Oval fruit shape 橢圓果型，對圓型果為顯性。
〃	ri	ridge 果實表面有溝肋，對無溝肋為隱性。
〃	So	Sour taste 酸位果，對甜味果為顯性。
〃	sp	spherical fruit shape 球型果，對圓果型為不完全顯性。
〃	st	stripea epicarp 果實有條斑，對無條斑為隱性。
〃	w	white color of mature fruit 成熟果皮白色，對濃綠果皮為隱性。
〃	wf	white flesh 白色果肉，對鮭紅果肉為隱性。
〃	Wi	White color of immature fruit 幼果果皮白色，對綠色果為顯性。
〃	Wt	White testa 種皮白色，對黃色或褐色種皮為顯性。
〃	Y	Yellow epicarp 黄色果皮，對白色果皮為顯性。

參考文獻

1.李伯年 1982 蔬菜育種與採種 茂昌圖書有限公司

2.林德佩 1995 甜瓜植物的分類及其種質資源 1995 年海峽兩岸西瓜甜瓜育種研討會 pp72-78. 農友種苗股份有限公司編印

3.吳明珠、伊鴻平、馮炯鑫 1995 甜瓜生態育種 30 年 1995 年海峽兩岸西瓜育種研討會. pp41-49.

4.黃賢良 1998 洋香瓜品種改良 蔬菜品種改良研討會:207-219 台灣省台東區農業改良場編印.

5.黃賢良 1993 台灣的甜瓜—洋香瓜 台灣省蔬菜產業演進四十年專集:263-276 台灣省農業試驗所編印.

6.黄賢良 1995 洋香瓜抗蔓枯病自交系之育成 台南區農業改良場研究彙報第 32 號 p23-32.

7.馮東昕、李寶棟 1996 主要瓜類作物抗白粉病育種研究進展 中國蔬菜 1:55-59.

8.湯文通 1957 農藝植物學 國立台灣大學農學院

9.蕭吉雄、張有明、楊偉正 1986 台灣主要瓜類生產問題及研究趨勢 pp98-108 蔬菜研究及生產改進研討會專刊 台灣省政府農林廳與中國園藝學會編印.

10.蕭吉雄、楊偉正 1990 瓜類育種 pp203-222 園藝作物育種講習會專刊 台灣省農業試驗所編印.

11.蕭吉雄、楊偉正、陳甘澍 1990 瓜類抗病育種 pp75-85 蔬菜生產與發展研討會專刊 台灣省農業試驗所編印.

12.Baudracco-Arnas, S. and M. Pitrat 1996. A genetic map of melon (Cucumis melo L.) with RFLP, RAPD, isozyme, disease resistance and morphological markers. Theor. Appl. Genet. 93:57-64.

13.Dogimont, C., A. Bussemakers, J. Martin, S. Slama, H. Lecoq and M. Pitrat. 1997. Two complementary recessive genes conferring resistance in an India melon line (Cucumis melo L.) Euphytica 96:391-395.

14.Katzir, N.,Y. Danin-Poleg, G. Tzuri, Z. Karchi, U. Lavi, and P. B. Cregan 1996. length polymorphism and homologies of microsatellites in several Cucurbitaceae species. Theor. Appl. Genet, 93:1282-1290.

15.McCreight , J. D., H. Nerson and R.Grumet 1993. Melon. In "Genetic improvement of vegetable crops" Kalloo, G. and B. O. Bergh (ed.), Pergamon Press, Oxford.

16.Neuhausen, S. L. 1992. Evaluation of restriction fragment length polymorphism in Cucumis melo, Theor . Appl. Genet. 83:379-384.

17.Pitrat, M. and H. Lecoq 1984 Inheritance of zucchini yellow mosaic virus resistance in Cucumis melo L. Euphytica 33:57-61.

18.Pitrat, M. 1994. Gene list for Cucumis melo L. Cucurbit Genetics Cooperative Report. 17:135-147.

19.Rudich, J. 1985. Cucumis melo. pp360-364. In " CRC handbook of flowering vol II " edited by A.H. Halevy. CRC Press. Inc.

20.Suszkiw, J. 1997. A new melon disease: Yellow vine. Agric. Res. 20-22.

21.Wang, Y-H., C. E. Thomas, and R.A. Dean 1997 A genetic map of melon (Cucumis melo L.) based on amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers. Theor. Appl. Genet. 95:791-798.

22.Whitaker, T. .M. and G. N. Davis 1962 Cucurbits: Botany, cultivation and utilization. Interscience Publishers, Inc. New York.

23.Whitaker, T. W. and W. P. Bemis 1976. Cucurbits. pp64-69. In"Evolution of crop plants" edited by N. W. Simmonds. Longman Group Limited, London.

番 茄 育 種

陳 正 次

亞洲蔬菜研究發展中心

前　　言

番茄是果菜類園藝作物，台灣俗稱`「甘仔蜜」、「臭柿子」，其經濟價值高，富含維他命 A 、 B 、 C 和 E 、醣類、酸類、纖維素、礦物質、蛋白質及果膠等。全球栽培總面積依據 1996 年 FAO 年報資料有 309 萬公頃，生產量為 8487 萬公噸，主要產地有非洲的埃及、阿爾及利亞、奈及利亞；北美洲的美國、墨西哥、古巴；南美洲的巴西、阿根廷；亞洲的中國、印度、土耳其及歐洲的義大利、烏克蘭、俄羅斯、西班牙等，其生產量僅次於馬鈴薯。番茄用途廣泛，可以鮮食、烹飪及加工製罐成番茄糊、番茄醬、番茄切塊、番茄粒、番茄汁、調味醬料。

世界各地民間生活飲食習俗不同對品種品味的喜好有很大的差異，譬如東南亞地區及熱帶地區的居民都喜愛省工栽培的停心型、中果粒 (60-100 公克)、紅色、高球形或橢圓形、具味酸、利用於烹飪或生菜沙拉；歐美國家喜愛大果、全紅、果重 150-200 公克，株型視種植環境有所不同。義大利、美國以停心型或半停心型為主；東北亞的日本、韓國及中國較喜愛粉紅大果、果重 (150-200 公克)，並以非停心型為主，日本人最喜愛桃形果。台灣的居民選擇鮮食用，非停心型，果實濃綠肩，高球形，一點紅品種為最愛，果重 150-200 公克，甜味高、風味佳；小果番茄以橢圓形或長橢圓形的高糖度 (7-10%)品種。

起　　源

番茄原產於南美洲的秘魯、厄瓜多爾及玻利維亞的安第斯山峽谷地帶，經由印地安人游牧生活遷居，隨伴攜帶到美國和墨西哥等地。 16 世紀才傳到義大利及其他歐洲國家， 17 世紀前葉當地居民認為是一種有毒的植物不敢食用，僅供觀賞用，種植也不多，後來義大利首先利用於生食及加工製罐，該產業才迅速發展起來，至今成為加工番茄的原產地。隨後，地中海一帶，土耳其及北歐國家也逐漸栽種，北歐因氣候因素，普及性慢，栽培上用溫室設施來改進栽培技術，英國也一樣，因此溫室栽種成為番茄栽培史上另一型態。美國在 18 世紀由荷蘭、義大利等地傳入， 19 世紀產業迅速發展成為現今最大的加工番茄生產國；亞洲地區由歐亞絲路打通，由葡萄牙人在 17 世紀傳入中國；日本在 18 世紀引進，當時僅供觀賞，明治初年開發為蔬菜用，才再次引種，到了昭和初期種植面積漸增，目前番茄生產興盛，整年供應，為重要蔬菜之一。加工番茄栽培也迅速發展，到 1970 年時已佔番茄總生產面積的 25%。台灣是在 17 世紀（ 1622 年）荷蘭入侵時引進種植，但因特殊味道未能普及， 19 世紀末葉日據時代由日本人引入改良品種，栽培面積增加，加上台灣南部氣候乾燥，溫度適宜，農民逐漸盛行，光復後 50 年來，

著手研究發展改良品種，使番茄事業興盛，並且是世界各大種子公司委託生產雜交一代種子的主要採種地區。其中在 1984 年番茄加工產業達最高峰時，總栽種面積達 12394 公頃，但由於農村勞力的嚴重短缺，導致番茄加工事業的沒落，致使 1996 年番茄總生產面積僅剩 4385 公頃，而且大部份是鮮食用的大果和小果番茄，特別是小果番茄產業由於品種改進及品質優異；農民栽種意願高，面積逐漸增加，近三年來（1995-1997）約增加 300 公頃至 1997 年小番茄生產面積約達 1000 公頃；而加工番茄卻剩下不到 300 公頃。

一般植物性狀

番茄為一年生或多年生、草本或半草本灌木，莖直立或蔓性，莖和葉表面具有淡黃色或暗黃色茸毛，長短不一，葉有缺刻及全緣。

一、種子：由種皮、胚乳和胚所組成，形狀為扁平的短卵形，長軸的一端呈凹陷，該部位為種臍，表面有毛，色澤灰褐色或黃褐色，長 4 公釐，寬 3 公釐，厚 0.8 公釐，千粒重 1.4-4 公克，一公升種子量約 250-300 公克，比重 1.05 。

二、根：種子發芽後之幼根，發育成 60 公分長的主根及側根，側根生長速度長度可達 1.0-3.0 公尺，鬚根發育良好、快速。

三、莖：主軸直立，長度依生長習性不同而定，生長初期約 30 公分，逐漸呈匍伏莖，老化呈木質化，莖呈圓或四方形，每一葉腋間，能長出側枝，側枝上的葉腋間都可長出側枝，莖表面著生多數茸毛及蜜腺，會分泌出特殊臭味及黏質，依據品種的生長習性不同分為三種如下：

1.停心型：每隔 1 或 2 個葉片就長出一個花序，通常會長出 4-5 個花序，頂芽發育成為一個花序而自動停心。植株高度為 90-120 公分。

2.半停心型：每隔 1 或 2 個葉片長出一個花序，生長勢較停心型旺盛，通常會長出 5-6 個花序，同樣最後一個花序為頂芽，就自動停心，植株高度 130-210 公分。

3.非停心型：每隔 2 或 3 個葉片長出一個花序，生長勢很旺盛，頂芽不會停心，一直無限生長。

四、葉：番茄葉互生，大多羽狀複葉，長 15-45 公分，複葉為 5-9 片（圖 1.），葉片分缺刻葉的普通葉形、全緣的馬鈴薯葉、捲葉形和大葉形四種（圖 2.），野生種的葉片形狀，各不同種有各別的特殊葉形。櫻桃番茄通常為三裂羽狀複葉，葉表面著生與莖上相同的絨毛，並分泌蜜腺。

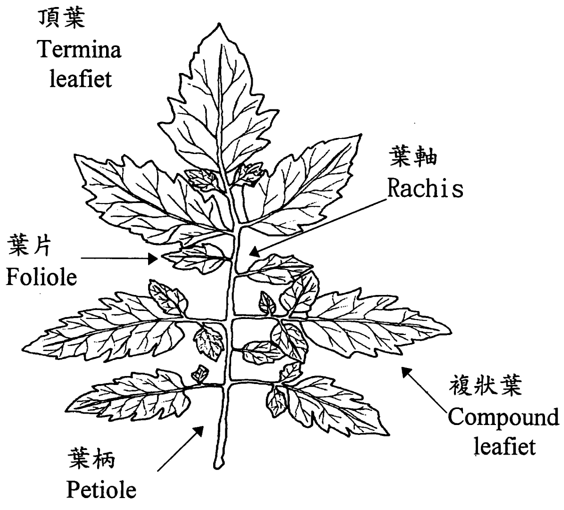


圖 1. 典型之番茄葉

圖 2.　番茄葉片形狀的種類

五、花：花序為總狀花序，有單梗、雙梗或多梗不等，每花序上花朵互生（圖三），數目不一，大果品種為 3-10 朵，小果品種多達 50-60 朵。花為兩性完全花，自然授粉，花萼細長 5 片，花冠黃色 5 片分裂，或 5 片合一，雄蕊的花藥由五個圓錐形小花藥連接成筒狀，將花柱和柱頭包圍在內，雌蕊的子房在花朵基部。（圖 4.）

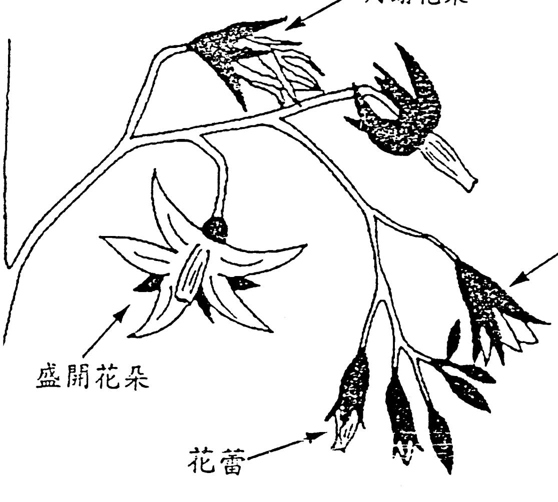


圖 3. 番茄之花序

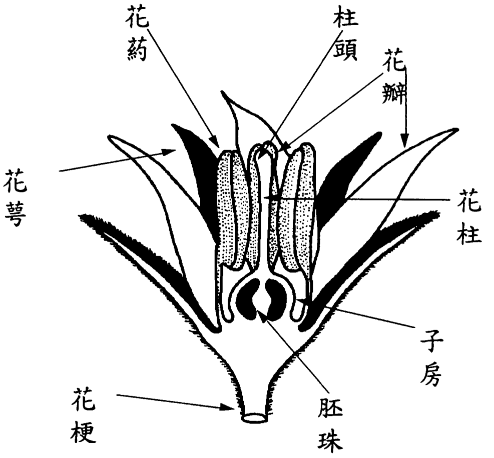


圖 4. 番茄花器構造

六、果實：果為漿果，形狀呈扁形、扁圓形、圓形、高球形、心臟形、橢圓形、長筒形、梨形、李形、及不規則形等（圖五），直徑為 0.5-15 公分，心室 2-15 個，果色有紅、粉、橙、黃、紫及綠色。果粒重 1-600 公克不等。

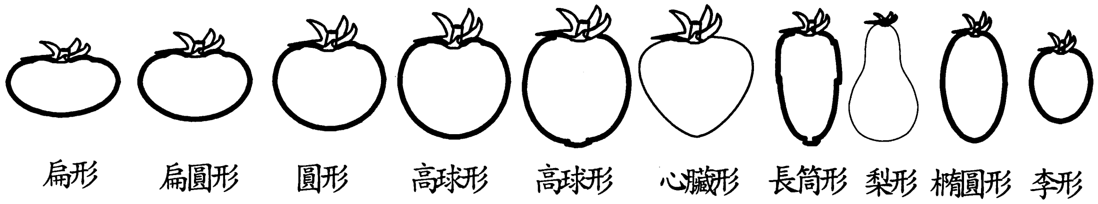


圖 5. 番茄果實形狀的種類

開花、結果習性及果實發育

正常開花依一定順序自基部花序先開，每花序花朵開花順序亦是自基部小花朵先開，依序往前開，一般基部 2-3 朵花同時開，然後隔天開兩朵花，一花序視花朵數多寡，開花日數有所不同，自然狀況，一星期開一花序，完成授粉、授精的花朵約 3-4 天後結果，子房逐漸澎大，開花後 30 天，果實不再長大，果皮變綠白色稱為綠熟期。果實成熟所需日數常受溫度高低影響，溫度高成熟快，夏天開花後 25-30 天就成熟；而冬天溫度低成熟慢，約需 45-50 天，其成熟的過程可分為八個時期：

一、未熟期（ immature green stage ）：果實沒有光澤，果實內種子白色，沒有膠質。

二、綠熟期（ mature green stage ）：果實外皮淡綠色具光澤，心室內已有膠質，果頂痕跡處略變白色。

三、變色期（ breaker stage ）：果頂的外表由淡黃色變為粉紅色，但未超過全果面積的百分之十。

四、轉色期（ turning stage ）：果實轉色為粉紅色或紅色，約佔全果面積的百分之十至百分之三十。

五、粉紅期（ pink stage ）：果實約有百分之三十至百分之六十面積變為粉紅色或紅色。

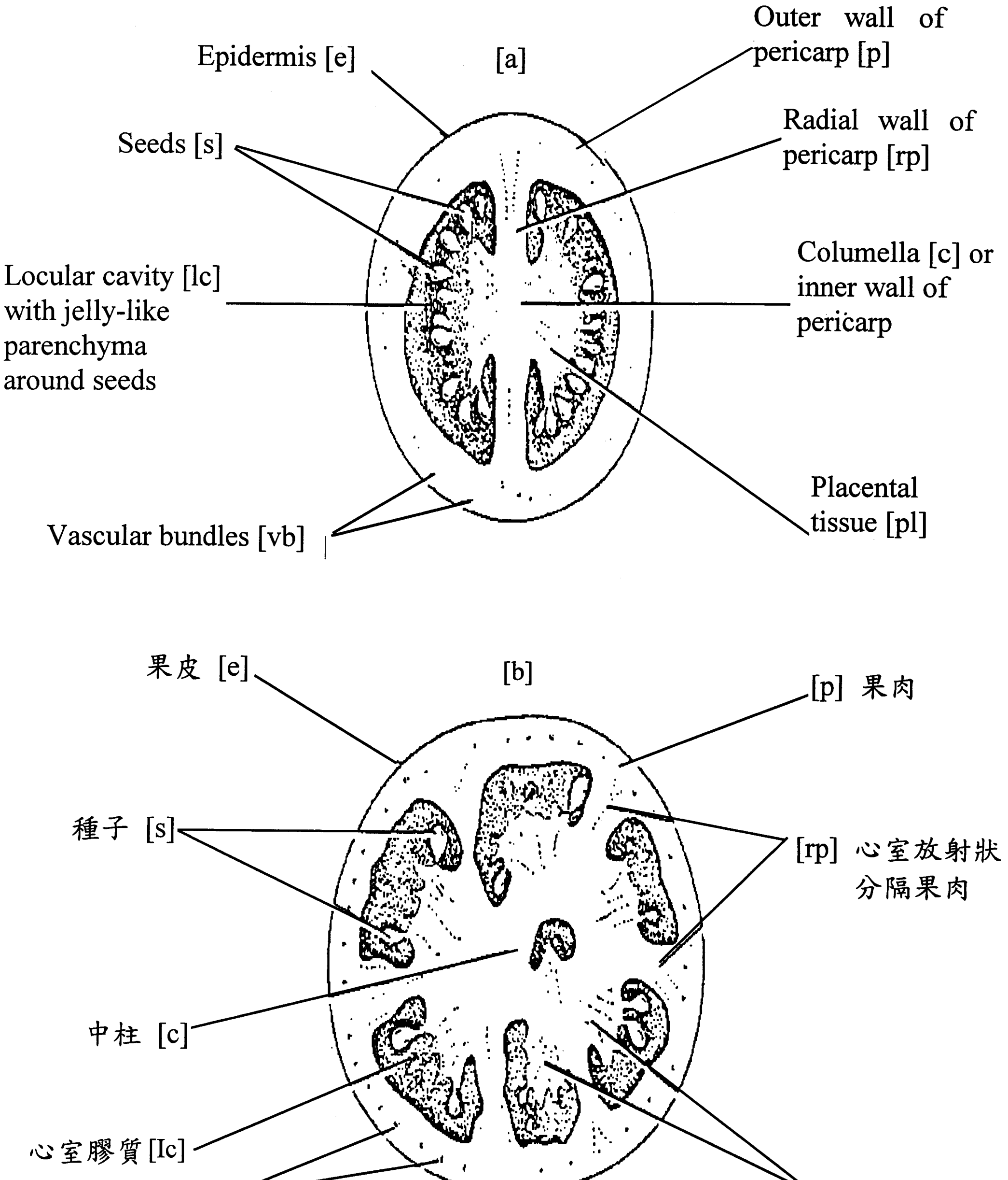
六、淡紅期（ light-red stage ）：果實成熟面積超過百分之六十但紅色部未超過百分之九十。

七、紅熟期（ red stage ）：果實已全部成熟，面積超過百分之九十。

八、過熟期（ over-ripen stage ）：果色暗紅，果肉開始變軟。

內銷生食採收適期，大果在變色期到轉色期，小果番茄在淡紅期，而加工番茄則必須在紅熟期，小果都留小果梗及萼片，生食大果及加工用則必須去除果梗。

果實構造（圖 6.）



番茄二心室(a)和多心室(b)果實的橫切面

圖 6. 果實構造

採 種 技 術

番茄的花器屬於兩性完全花，並且完全自然授粉，採種可分為固定種和雜交一代種兩種方式。

一、固定種採種：由於固定種本身已純化，但在採種時，仍應注意不可有其他品種的混雜，在一般正常環境下，並無蟲媒和風媒的傳粉可能性，故在種植採種田，只要品種間能有 2 公尺隔離即可。種植時於開花期、結果期及成熟期等三個時期，分別嚴格執行去雜工作，待果實成熟時，採收紅熟果碎取種子。

二、雜交一代品種採種：種植時應將父本與母本嚴格在不同田區隔離種植，父本應提早 14-20 天種植，種植株數與母本比例為 1 ： 4 ，母本種植後，停心型採四幹整枝，非停心型採雙幹整枝。

1.去雄：母本的第一花序去除，從第二花序開始做去雄，去雄時段於上午 7-11 時為宜，但若花朵數多，需要全天去雄亦可，去雄花朵應選擇每花序的前 4-6 朵花，及開花前 2-3 天的花蕾，以細尖鑷子，小心去除筒狀的雄蕊，注意不可傷害到雌蕊的柱頭、花柱與子房，並且保留花瓣，以便做為花朵盛開授粉時機的標記。

2.花粉收集：於晴天的上午 9-11 時，將父本當天盛開的花朵摘下，裝入牛皮紙袋或磨砂玻璃紙袋內，然後將所收集的花朵，在室內小心摘下花藥筒（雄蕊），盛入新的磨砂玻璃紙袋內，置於平盤，放在 100 燭光的光照下，乾燥 48 小時（平盤與燈泡的距離約 30 公分），溫度維持在 30 ℃為宜。乾燥後的花藥筒，倒入小塑膠杯內，杯口以細密的 360 目紗網密封，並用同樣大小的杯子罩住，然後倒過來（即盛花藥的杯子在上面，空杯子在下面）以手掌緊握兩個杯子，上下搖動 10-20 次，促使花藥筒內的花粉散落出來，之後將篩出的花粉，分裝特製的小玻璃容器或小玻璃瓶，密閉後放入置有乾燥劑的容器內，再密封存入-12 ℃至-27 ℃的冷凍庫內，要授粉時取出已分裝的小瓶，在室溫內存放 2-3 小時，待回溫後，攜帶到田間授粉。如此乾燥的花粉可以貯存一個月以上。

3.授粉：選擇晴天霧已散開時，大約在上午九時至下午三時前，執行授粉工作，授粉應選擇花朵盛開者，可以用花瓣完全展開顏色鮮黃色做為辨別。首先將盛開花朵以剪刀剪除兩片萼片來標記為已授粉花朵，再將花朵的柱頭注入盛有花粉的小杯內，確認柱頭粘上花粉，每株授粉花朵數和結果數，依據果粒大小而不同，大果約 20-30 果，中果 30-40 果，小果 50-60 果。每十公畝所需去雄及授粉的日數，非停心型為 22-25 天，小果番茄為 25-35 天，停心型為 15 天，每天所需的工人數也有所差異依序為 3-4 人， 8-12 人，和 6-8 人，一般每位技術工人可以去雄或授粉的株數也視每天花朵數和開花數而有差異依序為 670-900 株， 270-450 株，和 150-200 株。

4.收獲：授粉後約 45 天，果實開始成熟，但溫度高低變化會影響成熟日數，溫度高成熟快，採收時盡可能等待果實完全成熟，種子充份發育。飽滿為宜，倘若遇下雨或氣候不佳要提早採收，也要選擇粉紅期的果實，採收後置於冷涼處 3-4 天，後熟後再碎取種子。

5.種子處理及清洗：番茄種子的外表具有一層果膠，要乾燥種子前，一定要去除，否則乾燥不易，一般種子碎取，乾燥處理方法視種子多寡，所用方法有二種：

(1)少量種子－自然發酵法

A.採收完熟果實放入尼龍網袋內，綁緊開口處。

B.用腳踐碎番茄果實。

C.將網袋堆積在大的塑膠桶內發酵 24 小時，溫度低於 25 ℃時發酵 48 小時。

D.將已發酵的網袋之果肉倒入水桶，再以自來水沖洗，沖洗過程得小心取出果肉及雜物，多次清洗直到雜質完全去除後，再將種子倒入小網袋，即可涼乾及乾燥之。

(2)大量採種－種子碎取機碎取法

A.將已完熟果實，慢慢倒入碎取機內，用塑膠盤收集種子。

B.碎取的種子以 0.7 %鹽酸，處理 30 分鐘（每一公升種子內加入 7 毫升鹽酸）。

C.將處理過的種子倒入網袋內，綁緊開口處，再以自來水一面沖洗，一面用腳踐踏，使果膠迅速與種子脫離。

D.將種子再倒入大的水桶內，用水清洗，去除果皮碎片，直到乾淨為止。

E.乾淨的種子倒入中型的網袋內，置於脫水機內脫水後，放入低溫低濕乾燥機內乾燥 2-3 天，使種子內的含水量在 4-5%間。

6.種子儲藏：乾燥完成的種子，應去雜及標明品種代號，並將種子以塑膠袋或鋁箔袋包裝密封，儲藏於 15 ℃，及相對濕度 30%的儲藏室內。

植 物 學 分 類

番茄屬於茄科，番茄屬，依據分類學分成兩個亞屬，分述如下：

一、著色果亞屬（ *Eulycopersicon* ）：無假托葉、果色為紅、粉、橙、黃等色，自花授粉，自交或異交親和性佳。

1.栽培型番茄亞種（ *Lycopersicon* esculentum ， ssp. *cultum* ）

(1)普通栽培番茄（ Var. *vulgare*)－植株生長強、莖有蔓性、半慢性或矮性。花序有總狀或複總狀，花朵數不一，缺刻葉。果實具各種形狀，各種果色為大部份栽培種。

(2)直立番茄（Var. *validum*）－節間短、株矮、分枝直立性、葉深綠、皺紋深、形小、莖粗壯，亦具有各種果形。顏色主要有粉紅和大紅兩種。

(3)大葉番茄（Var. grandifolium）－生長中強、葉覆蓋略差、莖蔓性、葉大、葉的裂片 1-2 對、全緣馬鈴薯葉、花中小、果大紅或粉紅。

2.半栽培型番茄亞種（*Lycopersicon* esculentum ， ssp. *subspontaneum*）

(1)長圓形番茄（Var. *elongatum*）－植株生長中強、莖直立或蔓性高 70 公分，葉中大、花序單總狀，果重 30-50 公克，適應性強，為加工番茄之原始材料。

(2)多室番茄（Var. *succenturiatum*）－植株生長中強、莖高 90-110 公分，分枝性強，葉大而軟，淡綠色，花序為複總狀，果扁圓形，子房多室，重約 30-40 公克。

(3)櫻桃形番茄（Var. cerasiforme）－植株生長強健、莖蔓性，高 3 公尺，花序單總狀，子房室 2-3 個，風味佳、具抗病性。

(4)梨形番茄（Var. *pyriforme*）－植株生長中等、莖直立或蔓性，花序單總狀，分枝少，花少，子房長形，柱頭短，果洋梨形，二心室。

(5)李形番茄（Var. *pruniforme*）－植株生長中強、莖高 130-150 公分，花萼短，花序單總狀，花柱與雄蕊等長，柱頭短，果小長 3 公分，寬 2 公分，子房二室，果重 15-20 公克。

3.野生型番茄亞種（*Lycopersicon* pimpinellifolium Mill）

(1)總狀番茄（Var. *racemigerum*）－莖蔓性、花序長約 20 公分，花萼短，果實大小似小櫻桃，直徑 10-15 公厘，子房二室，乾物量及糖份高，抗旱性強。

(2)醋栗狀番茄（Var. *eupimpinellifolium*）－具高固形物和維生素 C ，抗萎凋病，莖蔓性，分枝多，莖上無長茸毛，花序長 20-25 公分，有些長 40 公分，花數多，花序上有 30-40 朵，花萼非常小，子房 2 室，種子多。

二、綠白色果亞屬（Eriopersicon）：有假托葉，果色為綠白色，紫或暗紫色，自花授粉，自交或異交不親和。

1.秘魯番茄（*Lycopersicon* peruvianum Mill）：自交不親和，此種包括 *L. glandulosum* 蔓性多年生，葉柄基部有托葉，花單總狀，果上有茸毛，果實小圓形， 2 心室，直徑 10-15 公厘，未熟果呈綠色，成熟變紫色，種子細小，具抗線虫、番茄嵌紋病毒、萎凋病、晚疫病、細菌斑點病、耐濕、高維生素 C 及高糖度（12-13 %）。

2.智利番茄（*Lycopersicon chilense* Dum）：自交不親和，葉狹細小，果綠色，直徑 5 公厘，子房 2 室，花序長，具抗頂葉黃化捲曲病毒病、胡瓜嵌紋病毒病。

3.多毛番茄（*Lycopersicon hirsutum* Humb & Bongl）：分枝多，脆弱，體表具長茸毛，其腺細胞含淡綠汁液，味奇臭，果小直徑 15 公厘，果表面有紫條

紋呈縱向分佈，成熟果綠白，子房 2 室，具抗胡瓜嵌紋病毒病、抗頂葉黃化捲曲病毒病、馬鈴薯 Y 型病毒病、番茄嵌紋病毒病、線虫、晚疫病、茸毛長、多果色種原。

4.潘內力番茄（*Lycopersicon pennellii* Rick）：自交不親和，抗番茄夜蛾、具高糖度、蜜腺發達、茸毛長、果小直徑約 10 公厘，綠色呈暗綠，具長茸毛，有特殊臭味，子房 2 室，種子細小，灰褐色。

5.契斯曼番茄（*Lycopersicon cheesmanii* Riley）：自交不親和，祇有 Galapagos 島發現，與 *L. escu* 容易雜交，具耐鹽，無果梗節，節間短，果細小直徑約 6-9 公厘，色黃或黃綠，種子茸毛少。

6.*Lycopersicon chmielewski*：天然雜交授粉，果細小直徑約 10-14 公厘，果成熟時黃綠色並帶有大的花萼片。

7.*Lycopersicon* parviflorum：自交親和，果細小直徑約 10-14 公厘，果皮表面具有二條深綠或紫色條紋。

雜交親和性

番茄種間及種內雜交親和性，列於表一，並敘述如下。栽培型番茄亞種（*Lycopersicon esculentum*）自交親和性良好，與其他亞種如 *L. pimpinellifolium* 和 *L. hirsutum* 的雜交親和性也不錯，但與 *L. chilense* 和 *L. peruvianum* 兩個亞種的親和性差；胚會異常，無法發育出良好的種子，其雜交組合的個體，必須由組合的未熟種子行胚培養來培育之。野生型番茄亞種（*Lycopersicom pimpinellifolium*）自交親和性良好，與其他亞種的雜交親和性與 *L. esculentum* 相同。毛番茄亞種（*Lycopersicon hirsutum*）其本身自交親和性也要視品系而定，有的親和性好，有的自交不親和，與 *L. esculentum* 和 *L. pimpinellifolium* 兩個亞種雜交時常有不親和的現像，而與 *L. chilense* 和 *L. peruvianum* 雜交時也會產生胚異常。*Lycopersicon peruvianum* 與 *L. esculentum*，*L. pimpinellifolium* 和 *L. hirsutum* 等三種亞種雜交親和性差，與 L. chilense 雜交產生胚異常，本身亦是自交不親和。*Lycopersicon chilense* 其本身自交不親和性強，與其他亞種雜交都是不親和及胚異常。

表 1、　番茄種間及種內雜交的親和性*

	L. escu	*L. pimp.*	*L. hirsu.*	*L. chil.*	*L. peru.*
L. escu.	+	+	+	EA	EA
L. pimp.	+	+	+	EA	EA
L. hirsu.	+，UI	+，UI	+，UI，SI	?	EA
L. chil.	EA	EA	EA	SI	EA
L. peru.	UI	UI	UI	EA	SI

備註：+正常；SI：自交不親和；UI：單相不親和；EA：胚異常；?；不詳　　*摘錄自 Hogenboom（1972）

重要性狀遺傳

作物的性狀是經由染色體上的遺傳物質或基因代代相傳，若能充分瞭解及掌握主要的農園藝性狀、抗病性的遺傳行為及基因在染色体上的位置等資訊，對於擬定的育種計畫目標成功的機率及期限有很大幫助。番茄重要性狀的遺傳性經由全世界著名的遺傳和育種研究學者多年辛苦的研究已經有很完整的結果報告，尤其細胞遺傳學上成就是作物界中數一數二，本章節分門別類敘述如下：一、番茄性狀及其遺傳性，二、番茄重要病害的抗病種原、基因及其遺傳性，三、番茄重要病毒病的抗病種原、基因及其遺傳性，四、番茄基因符號及所控制的性狀（基因符號，英文字母大寫為顯性，小寫為隱性）。

育種目標

一、豐產性育種：

所有作物育種最重要的目標為高產量，但是產量又是多因子控制的量性狀遺傳，並且是複雜及易受環境影響的性狀。番茄總產量是決定於單位面積株數，及在該密度下單株的平均產量之乘積。而每單株產量取決於該植株上花序數、花序上的花朵數、著果數、果實大小、另外受到株型、株葉數量、光合速率及對環境適應性等限制，因此在培育豐產品種應針對上述特性加以著重及導入，使預期育種目標能有效的達成。

二、耐熱性育種：

番茄為果菜類園藝作物，生產過程必須有花芽分化－開花－授粉－授精－結果－果實發育－果實成熟等階段的完成才能有所收成，各階段對溫度、光照強度的需求及敏感度都很強，原本番茄又是屬於溫帶作物，本身對溫度很敏感，其最適宜生產的溫度為15-26℃之間，亞熱帶地區除了平地春秋冬，夏季在高冷山坡地帶外，不適宜種植，因此產期常過度集中在秋冬季，導致生產過剩，價格低落，農民常血本無歸，夏季平均夜/日溫度高達 24/32 ℃，日夜溫差小，溫帶能培育出來的品種，根本無法在此種氣候條件下正常的花芽分化，得到好的結果率，優良的品質，故溫度愈高的地區愈無法栽種番茄，為要解決夏季番茄生產問題及瓶頸，必須著手研究培育能適應高溫多濕環境下結果及品質良好的品種，因此在種原篩選及雜交育種培育要訂定溫度上下限標準，依照目前夏季氣候夜溫高於24℃，日溫高於32℃下能正常結果，其結果率達30-40％者為耐熱品種。

三、抗多種病害育種：

病害漫延的快慢常受環境影響，熱帶或亞熱帶地區，高溫多濕環境惡劣，加上植株本身生育勢就受到限制，生長緩慢而差，軟弱，相反的病原繁殖迅速，特別是熱帶地區特定病害的青枯病、半身萎凋病、幼苗疫病、白絹病、細菌班點病、黑黴病及根瘤線虫，此外，病毒病如番茄嵌紋病毒病、頂葉黃化病毒病及馬鈴薯Y

(一) 番茄性狀及其遺傳性

相對性狀	顯/隱性	F_1表現型	F_2表現型
紫色莖－綠色莖	顯	紫色	3 紫色莖：1 綠色莖
非停心性－停心性	顯	非停心性	3 非停心性：1 停心性
葉緣有鋸齒－全緣	顯	有鋸齒	3 鋸齒：1 全緣
綠葉－黃葉	顯	綠葉	3 綠葉：1 黃葉
長花序－短花序	顯	長花序	3 長：1 短
單花序－複合花序	顯	單花序	3 單花序：1 複合花序
果實二室－多室	顯	二室	3 二室：1 多室
匍匐莖－矮莖	顯	匍匐性	3 匍匐性：1 矮性
非直立性－直立性	顯	非直立性	3 非直立性：1 直立性
花序帶葉－花序不帶葉	顯	花序帶葉	3 花序帶葉－1 花序不帶葉
正常莖－叢生莖	顯	正常莖	3 正常莖：1 叢生莖
正常葉－寬葉	顯	正常葉	3 正常葉：1 寬葉
正常節間－短節間	顯	正常節間	3 正常節間－1 短節間
寬子葉－窄子葉	顯	寬	3 寬：1 窄
高苗－矮苗	顯	高	3 高：1 矮
不捲葉－捲葉	顯	不捲	3 不捲：1 捲
正常花萼－大花萼	顯	正常花萼	3 正常花萼：1 大花萼
無毛－有毛	顯	無毛	3 無毛：1 有毛
正常葉－細窄葉	顯	正常葉	3 正常葉：1 細窄葉
黃果皮－透明果皮	顯	黃果皮	3 黃果皮：1 透明果皮
紅果肉－黃果肉	顯	紅果肉	3 紅果肉：1 黃果肉
果實平滑－果實棱褶	顯	果實平滑	3 果實平滑：1 果實棱褶
橙黃色－紅色	顯	黃/橙黃色	15 橙色：1 紅色
小果－大果	中間	近小果	常態分布
圓果－扁圓果	顯	圓果	3 圓果：1 扁圓果
圓果－卵形果	顯	圓果	3 圓果：1 卵形果
橢圓形果－卵形果	顯	長橢圓形	3 長橢圓形：1 卵形
圓形果－李形果	中間型	近圓形	分離
檸檬形果－扁形果	中間型	近圓形	分離
檸檬形果－牛心形果	中間型	近圓形	分離
檸檬形果－梨形果	中間型	近圓形	分離
早熟－晚熟	顯	早熟	數量遺傳
綠肩－白皮	顯	綠肩	3 綠肩：1 白皮
果梗節－無果梗節	顯	果梗節	3 果梗節：1 無果梗節
多種子－少種子	顯	近多種子	數量性狀
耐熱性－不耐熱性	顯	近耐熱	數量性狀
硬果－軟果	顯	中硬（近硬）	數量性狀
雄稔性－雄不稔性	顯	雄稔	3 雄稔性：1 雄不稔性
正常－單偽結果	顯	正常	3 正常：1 單偽結果

(二) 番茄重要病害的抗病種原、基因及其遺傳性

病害別	抗病種原	抗病基因	顯/隱	F_1	F_2
半身萎凋病 Fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp)	Rodade，UC204A，BTN472 Fla MH-1 I3R-1	I-1，I-2 I-1，I-2，I-3	顯	抗	3抗：1感
黑黴病 Black leaf mold (Pseudo*cercospora fuligena*)	*L. hirsutum* (L 1064) *L. escu.* (PI2544655)		隱	感	1抗：15感
晚疫病 Late blight (*Phytophthora infestans*)	*L. hirsutum* (L3683，L3684) *L. pimp.* (L3707，L3708)	ph-3	顯	抗	3抗：1感
根瘤線蟲 Root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*)	Cal Mart，72T6 CLN657，CLN698 (AVRDC lines) Kewalo，Healani Anahu，RV series CLN229，CLN236 (AVRDC lines)	Mi APS-1[1] Mi/Mi	顯	抗	3抗：1感
青枯病 Bacterial wilt (*Pseudomonas solanacearum*)	L285，H7996，H7997，H7998，BF okitz101 CRAseries，Rodade，Caraibo，Cararel，Fla 7421，AVRDC breeding line (CL9，CL143，CL2729，CL1131，CL5915，CLN65，CLN657，CLN698 等品系)	Ps	顯	中抗	分離類似量性狀
萎凋病 Verticillium wilt (*Verticillium albo-atrumt*)	Peru Wild，Loran Blood，VR Moscow，MEL2668 170G	Ve	顯	抗	3抗：1感
早疫病 Early blight (*Alternaria solani*)	NCEBR:Series lines		不完全顯	抗	1抗：2中抗：1感
葉黴病 Leaf mold (*Cladosporium fulvum*)	Stirling Castle Vetomold，V121，P135，Ont7717		顯	抗	3抗：1感
斑點病(白星病) Septoria leaf spot (*Septoria Lycopersici*)	Targinnie Red		顯	抗	3抗：1感
炭疽病 Anthracnose (*Collectotrichum coccodes*)	*L. pimpinellifolium* *L. escu* (PI272636)		顯	抗	3抗：1感
灰斑病 Grey leaf spot (*Stemphylium solani*)	*L. pimpinellifolium*		顯	抗	3抗：1感

（三） 番茄重要病毒病的抗病種原、基因及其遺傳性

病害別	抗病種原	抗病基因	顯/隱	F_1	F_2
番茄炭紋病毒病（ToMV）	Mobaci，Mocimor	Tm-1	顯	抗	3抗：1感
	Moperou	Tm-2	顯	抗	3抗：1感
	L127，Ohio MR-9，12，13 Mocimor，Momor，AVRDC breeding lines（CL1131，CL5915，CLN657，CLN698 及 CLN65 等系列）	Tm-2^a	顯	抗	3抗：1感
頂葉黃化捲曲病毒病（TYLCV）	*L. chilense* (LA1969，LA2731，LA1962，LA3113) H24，H36，Fiona F_1，Tyking F_1 Ty-52，Tainan ASVEG#6	Ty-1	顯	抗	9抗：7感
胡瓜炭紋病毒病（CMV）	*L. chilense* (LA1969) *L. hirsutum* (VL262)	?	-	-	
馬鈴薯Y病毒病（PVY）	*L. hirsutum* (VL111) *L. escu.* (CLN808 系列品系，AVRDC lines)	?	隱	感	1抗：15感

（四）番茄的基因符號及所控制的性狀

符號	基因名稱	基因座位置	表現性狀	發現者及年份
a	花青素欠缺	11-68	植株所有部位完全缺失花青素莖葉為綠色，無紫色	Rick & Butler，1996
aa	缺少花青素	2-50	植株所有部位完全缺失花青素	Clayberg et. al.，1970
acr	acroxantha	7-71	葉淡綠，在頂葉上轉黃色	Stubbe，1964
afr	花青素欠缺	8	植株小，花青素完全缺失	Kerr，1975
afl	白葉	4-3	葉片發白，會漸恢復正常	Clayberg et. al.，1966
ag	花青素獲得者	10-124	花青素在後期發育會慢慢出現	Rick & Butler，1956
ah	花青素全缺	9-24	植株各部位均缺花青素	Clayberg et. al. 1966
al	花青素消失	8-67	植株發育初期莖紫色，而後漸漸消失	Rick & Butler，1956
alb	葉綠素欠缺	12-0	葉片白與淡綠相間	Clayberg et. al. 1966

alc	alcobaca	10-0	極度延遲果實成熟的過程	Kopeliovitch et. al. 1981
apn	白斑葉	11-32	葉片上有細白斑蚊	Clayberg et. al. 1973
Aps-1	Acid phosphatase-1	6-35		Rick，1983
Aps-2	Acid phosphatase-2	8-27		Rick，1983
are	花青素少	2-58	結果前幾乎沒有花青素	Clayberg et. al. 1973
au	鮮黃葉或淡黃葉	1-32	葉鮮黃色或淡黃色	Clayberg et. al. 1960
aut	金黃色葉	3L-?	生長初期生長點部位呈金黃色	Clayberg et. al. 1960
auv	金黃綠葉	10-124	幼苗金黃色帶綠，葉片部份變尖形	Rick et. al.，1974
aw	綠莖	2-59	植株所有部位完全沒有花青素，莖綠色	Rick & Butler，1956
B	β-胡羅蔔素	6-106	胡蘿蔔果色（顯性性狀）	Rick & Butler，1956
bi	分歧花序	11-97	與 f 和 j 結合的嚴重帶化	Rick & Butler，1956
bip	分裂葉	2-68	葉片高度分裂成小尖裂片	Stubbe，1959
bk	尖突	2-38	果頂長成尖狀	Rick & Butler，1956
bl	停心	11-75	莖在第一花序後就停心	Rick & Butler，1956
bls	短縮	3-74	缺花青素，株形緊密	Clayberg et. al. 1966
br	半矮性	1-0	節間短	Rick & Butler，1956
brt	叢生根	12	根部分枝多，矮生性	Clayberg et. al. 1970
bs	褐色種子	1-16	胚乳棕色	Clayberg et. al. 1967
bs-2	褐色種子-2	7-34	胚乳棕色	Clayberg et. al. 1970
bu	叢生矮性	8-18	節間、花序短小，葉柄長	Rick & Butler，1956
c	馬鈴薯葉	6-104	葉缺刻減少，全緣	Rick & Butler，1956
Cf	抗葉霉病	1-92?	抗 *Cladosporium fulvum* 的特殊小種	Rick & Butler，1956
Cf-2	抗葉霉病-2	6-45	抗 *Cladosporium fulvum* 的特殊小種	Rick & Butler，1956
Cr-3	抗葉霉病-3	11-11	抗 *Cladosporium fulvum* 的特殊小種	Rick & Butler，1956
Cf-4	抗葉霉病-4	1-94	抗 *Cladosporium fulvum* 的特殊小種	Kerr et. al.，1980
Cf-11	抗葉霉病-11	12-29	抗 *Cladosporium fulvum* 的特殊小種	Kerr et. al.，1980

ch	綠黃色花瓣	8-28	花瓣綠黃色	Clayberg et. al., 1966
clau	部份閉花授粉	4-0	花朵部份閉花授粉,葉片多皺而極度分裂	Stubbe 1958
cm	捲曲斑雜葉	4-6	葉片斑(雜);捲曲,嚴重分裂	Clayberg et. al., 1960
cn	灰綠葉	3-24	葉片灰綠,植株小而不分枝	Stubbe, 1958
coa	圓形花	6-64	植株小,葉較小寬而圓、葉暗,花器短而寬	Stubbe, 1964
com	復變	1-63	葉片極度二次分裂,植株小,少分枝	Stubbe 1954
con	復蘇型	3L-?	生長點部位黃綠	Stubbe 1957
cpt	緊密株型	8-16	植株高度分枝,緊密,莖鬆弛,葉小而色淡	Clayberg et. al., 1960
Cu	捲曲	2-49	葉脈和葉柄嚴重短縮,純結合型能存活	Clayberg et. al., 1960
d	矮化	2-70	植株全部短小化,葉色深、多皺	Rick & Butler, 1956
d-2	矮化-2	6-104	植株生長緩慢,半不稔性	Clayberg et. al., 1960
dd	極矮化	2-?	極端矮性,生長顯著延遲,極度變形	Clayberg et. al., 1967
deb	黃色壞死斑	7-52	葉片黃化,有壞死斑	Stubbe, 1957
def	畸形花	6-57	花畸形,稔性低,葉片逐漸減少	Stubbe, 1957
depa	矮性葉片彎曲	8-18	植株非常小,葉片不斷地黃化	Stubbe, 1958
dgt	葡匐性	1-132	莖和根均斜屈生長,缺少側根,植株非常小	Clayberg et. al., 1973
di	花軸短小	4-89	花軸顯著短小,莖漸漸退化,葉片呈白色條紋	Stubbe, 1958
dil	弱化矮性	2-53	葉片暗淡綠,小而粗	Stubbe, 1957
div	紫葉背矮性	3-111	植株小,緊密,葉脈間黃色,背面紫色	Stubbe, 1959
dl	雄蕊分離	8-29	雄蕊不連合,無茸毛	Rick & Bulter, 1956
dmt	小型矮化	4-79	植株矮,節間和葉片均短小	Clayberg et. al., 1973
dp	下垂葉	1L	葉下垂,長而濃綠	Clayberg et. al., 1966
dpy	短粗	2-57	葉極度密集,多皺,暗綠色	Clayberg et. al., 1967
dt	小型暗葉脈	1-161	植株矮小,葉片發黃,葉脈色暗	Stubbe, 1963
dv	矮性黃綠白葉	2-74	生長點暗綠,植株矮小	Rick & Bulter, 1956
e	全緣性小葉屈曲	4-66	葉裂片少,中脈屈曲	Rick & Bulter, 1956
ele	小型優雅	11-30	葉少,黃綠色,植株小	Stubbe, 1957

f	多室果	11-95	果實多心室，異常發育而變扁	Rick & Bulter， 1956
fd	斑點葉矮性	12-31	葉上有淺綠斑點，植株延遲生長	Clayberg et. al.， 1967
fla	黃色葉	1-145	葉淡綠，小葉少	Stubbe， 1959
flc	垂葉矮性直立	7-59	植株小型直立，幾乎不分枝，葉短下垂易萎凋	Stubbe， 1959
fms	雌蕊不稔性		雌蕊變形，無功能，花粉正常	Clayberg et. al.， 1966
Fs	果實帶化	10-20	果實表面具暗綠放射狀條紋	Clayberg et. al.， 1962
ful	金黃色植物	4-24	葉片鮮黃色，漸漸變綠	Stubbe， 1957
ful-3	金黃色植物-3	3s	植株全生長期，葉片鮮黃色，而後變綠	Meredith & Rick， 1974
Ge	配子無效	4-27	在 Ge^c/Ge^p 雜結合個體所產生的 Ge^c 雄配子和雌配子均無效	Clayberg et. al.， 1967
gf	綠色果肉	8-44	因持續性的葉綠素，成熟果肉仍呈綠色	Clayberg et. al.， 1960
glv	幽靈	11-43	植株開始綠色，而後變白	Clayberg et. al.， 1960
glau	蒼白色	8	葉呈黃灰綠色，株小而直立	Stubbe， 1958
glg	淺灰綠	8-43	葉片淺綠色，葉脈色深，植株小	Clayberg et. al.， 1973
glo	球狀葉	4-72	節間和葉片均短，淺綠色；為不完全顯性	Stubbe， 1957
Gp	配子受精促進劑	9-0	促進配子受精時的競爭能力	Clayberg et. al.， 1970
gs	綠條紋果實	7-5	未熟果實表皮上有綠色條紋，成熟時呈金黃色	Rick & Butler， 1956
h	無茸毛	10-55	除胚軸外全株無茸毛，為不完全顯性	Rick & Butler， 1956
hi	裂葉矮性	9-42	葉裂片呈不規則鋸齒形，淡綠色	Stubbe， 1964
hl	無茸毛	11-48	植株無茸毛，莖脆	Rick & Butler， 1956
hp	高色素	12	果實中的葉綠素、類胡蘿蔔素和維生素 C 的含量高	Clayberg et. al.， 1960
Hr	粗毛葉	8-46	上葉表面有長茸毛	Clayberg et. al.， 1966
hy	全株黃色	10-14	所有莖葉部位，在生長期的各階段，為黃色	Clayberg et. al.， 1970
I	萎凋病免疫	11	抗半身萎凋病	Rick & Bulter， 1956
I-2	萎凋病免疫-2	11-100	抗半身萎凋病小種-2	Cirulli & Alexander， 1966
icn	白葉緣	10-46	葉片邊緣白色，植株發育受阻	Clayberg et. al.， 1970
ig	小型柔弱	7-27	植株直立分枝少，葉片大而淺綠色	Stubbe， 1959
imb	愚鈍株	1-75	植株衰弱分枝少，葉片由黃綠轉為	Stubbe， 1957

			淺綠	
ini	不完全矮性	11-68	幼葉色淺，全株小型，株型大小有差異	Stubbe， 1964
inv	不規則斑矮性	1-140	植株短小，葉片上有不規則細黃斑點	Stubbe， 1957
irr	不規則	1-55	葉片短，葉脈不規則，暗綠及黃色	Stubbe， 1958
j	無果硬節	11-28	無果硬節，花序不停心	Rick & Bulter， 1956
j-2	無果硬節-2	11-0	果梗長，無果硬節，花序不停心	Clayberg et. al.， 1960
l	黃色葉	8-10	早期葉片黃化，未熟果變黃	Rick & Bulter， 1956
l-2	黃色葉-2	10-91	性狀與 l 相似	Rick & Bulter， 1956
La	槍尖形葉	7-48	葉小全緣，莖細長；果實小，純結合個體會死亡	Clayberg et. al.， 1960
lg	淡綠葉	1L	生長各階段的葉片均為黃和綠	Rick & Bulter， 1956
lg-5	淡綠葉-5	7-17	葉片均勻淺綠色	Clayberg et. al.， 1966
Ln	茸毛密生	3-53	多毛，所有基因型均富有生命力，特徵明顯	Clayberg et. al.， 1973
Lpg	鐘形花	1-16	葉小、暗綠有光澤，花呈鐘形	Clayberg et. al.， 1966
ls	腋芽抑制	7-59	極少或全無腋芽，花冠發育受阻，部份雄不稔	Clayberg et. al.， 1960
ltf	闊葉	7-0	子葉和本葉均寬闊	Clayberg et. al.， 1973
lut	黃色葉	9-56	葉黃綠，葉脈色較深，生長點濃黃色	Stubbe， 1957
Lx	下垂葉	2-56	葉片下垂伸長，裂葉尖	Clayberg et. al.， 1966
lyr	扇形葉	5-31	第一本葉全緣，成長葉片呈扇形，雌蕊不稔	Clayberg et. al.， 1966
m	斑雜葉	2-77	葉片均為淡綠色斑	Rick & Bulter， 1956
m-2	斑雜葉-2	6-69	葉片上有許多細小的變色斑點，斑點的大小隨溫度變化而有差異	Clayberg et. al.， 1960
marm	大理石紋	9-62	葉上有白一淺綠大理石紋在溫室內最易表現出來	Clayberg et. al.， 1960
mc	大花萼	5-0	萼片和花序大而茂盛	Rick & Bulter， 1956
mcn	斑雜畸形	3-31	葉片黃帶綠，中間變斑雜最後呈畸形	Rick & Bulter， 1974
Me	鼠耳葉	2-48	3-4 片裂葉，先端呈棍棒形，節間短純結合個體能存活	Clayberg et. al.， 1967
Mi	抗線虫	6-35	抗根瘤線虫	Clayberg et. al.， 1960

mnt	極小矮生	11-51	植株小，分枝及結果少	Clayberg et. al.， 1967
mps	極矮生缺磷症	11-85	生長顯著延遲，植株退綠變紫	Clayberg et. al.， 1970
ms-2	雄不稔-2	2-69	花藥萎縮，色淡，無花粉	Rick & Bulter ， 1956
ms-5	雄不稔-5	2L	花藥異常小，無色，經常為稔性	Rick & Bulter ， 1956
ms-7	雄不稔-7	11-64	花藥稍微萎縮，花粉在四分期衰退	Rick & Bulter ， 1956
ms-8	雄不稔-8	8-11	花朵小，花藥色淡，萎縮，無花粉	Rick & Bulter ， 1956
ms-9	雄不稔-9	3-8	花藥近乎正常，無花粉	Rick & Bulter ， 1956
ms-10	雄不稔-10	2-40	花朵很小，雄蕊小，色非常淡，無花粉	Rick & Bulter ， 1956
ms-12	雄不稔-12	11-58	花朵很小，花藥萎縮，無花粉	Rick & Bulter ， 1956
ms-14	雄不稔-14	11-88	花藥色淡，萎縮，無花粉	Rick & Bulter ， 1956
ms-15	雄不稔-15	2-62	花藥短縮，色特淡，無花粉，花朵小，柱頭突出	Rick & Bulter ， 1956
ms-32	雄不稔-32	1-47	花藥非常小，短縮，色特淡，常為棕色，無花粉，柱頭突出	Clayberg et. al.， 1966
ms-33	雄不稔-33	6L?	花粉異常，黃綠色，無花粉	Clayberg et. al.， 1966
mta	叢生矮性	9-17	植株小，開展性叢生，節間短，葉長，生長點黃綠	Stubbe ， 1964
mts	致死樣矮生	1-94	植株小，叢生，節間及葉顯著縮短，嫁接在正常株上也不能形成花序	Stubbe ， 1963
mua	多果性花序	12L-?	本花序分枝多，著花多，橄欖綠色，葉脈間退綠	Stubbe ， 1963
nd	網目葉	10-117	幼葉呈輕微白化現象，後來長出的葉片葉綠素集中在葉脈周邊呈網目狀	Clayberg et. al.， 1960
ne	壞疽葉	2-prox	與 C_1F_2 共存，使葉片產生逐行性壞死	Rick & Bulter ， 1956
ne-2	壞疽葉-2	11-	葉片上有許多灰色嵌疽斑，植株小而衰弱	Clayberg et. al.， 1966
neg	排斥	11-40	植株小，分枝力弱，葉淡綠葉脈深綠，形成壞疽	Stubbe ， 1957
ni	伶巧	8-45	葉柄長而優美，葉片切刻深	Stubbe ， 1957
nor	不紅熟	10-19	果實成熟過程非常遲緩	Clayberg et. al.， 1973
not	醒目葉	7-40	葉片小而細緻，在夏季易凋萎	Stubbe ， 1958
Nr	從不紅熟	9	果成熟呈灰枯黃，純結合個體會存活	Clayberg et. al.， 1960

Nr-2	從不紅熟	1L	果肉很慢變黃綠，並維持硬度	Kerr， 1982
nv	網目狀淡綠葉	9-20	葉為毛緣，子葉和本葉葉脈間色淡	Clayberg et. al.， 1960
o	卵圓果	2-55	果實卵圓形，不完全顯性	Rick & Bulter， 1956
oc	退色	4-24	葉呈尖形，退色呈白斑駁色	Stubbe， 1959
og	茶色花瓣	6-106	花瓣為茶色	Clayberg et. al.， 1966
oli	橄欖葉矮性	10-70	葉斑雜、淡橄欖色並萎縮	Stubbe， 1959
op	不透明葉	2-65	葉片淡綠，生長點黃色	Stubbe， 1958
p	桃形果	2-67	果實表面無光澤，長滿茸毛	Rick & Bulter， 1956
pat, pat-2			單偽結果	
pau	貧弱	3-0	植株細弱，不分枝；與正常株正反嫁接反應明顯	Stubbe， 1958
pcv	花斑		葉變形成細小，帶有白色深淺不同的綠色細條斑紋	Clayberg et. al.， 1973
pdc	萎縮	3-15	植株極度萎縮，葉片深綠色，狹小而皺	Rick et. al.， 1974
pds	缺磷症	6-0	發育受阻，葉小不規則，有黃綠色及紫色斑	Clayberg et. al.， 1970
pdw	灰白矮化症	7	植株小，葉淺黃，不變綠	Kerr， 1982c
pe	易剝皮	1L	果皮易剝離	Barton et. al.， 1954
ph	抗晚疫病	7	抗晚疫病菌的 To 小種	Clayberg et. al.， 1960
pl	透明葉	7-40	裂葉窄狹、淺綠、早期黃化	Stubbe， 1963
pla	剛直矮性	9-33	植株小、僵硬，葉黃到淺綠，葉脈色深	Stubbe， 1963
prun	李形果	2-56	植株各部份，特別是果實變長，顯性不明顯	Stubbe， 1957
ps	閉花不稔	2-61	花瓣不張開，不散佈花粉	Stubbe， 1956
pst	花柱殘存	7-5	果實發育期花柱不脫落，果頂顯著突出鉤形物	Clayberg et. al.， 1967
Pts	葉句織形	6-106	葉片分裂成三等份，半顯性	Rick， 1980b
pum	矮小	p-24	植株小，極少或不分枝	Stubbe， 1957
Py	抗黑斑病	-	抗黑斑病，雜結合個體中間性	Clayberg et. al.， 1973
r	黃色果肉	3-29	成熟果肉為黃色	Rick & Butler， 1956
ra	灰綠	4-31	葉下捲灰綠色，茸毛密而長	Stubbe， 1957
re	匍匐性分枝少	8-12	節間長、分枝少而且匍匐	Stubbe， 1958
res	限制	10-105	植株小，緊密，小葉呈船形，黃綠色，葉脈紫色	Stubbe， 1963
ria	僵直葉矮性	7-70	植株小，幼葉僵硬發黃	Stubbe， 1963
rig	僵直	8-35	植株小，幼葉僵直直立，葉變黃而	Stubbe， 1959

			後轉暗綠	
rin	成熟抑制	5-0	果實成熟為綠色，漸轉黃色	Clayberg et. al.， 1970
ro	叢生無花	2-50	節間特別短，不著花	Rick & Butler， 1956
rot	圓形葉	7-17	節間極短，葉短而寬	Stubbe， 1959
ru	葉片狹小	3-63	羽狀葉窄小，淡綠，葉脈暗綠，雜結合個體為中間性	Stubbe， 1958
rust	粗糙葉短性	8-58	植株侏儒狀，葉寬、羽狀葉減少，葉粗糙	Stubbe， 1957
rv	網狀綠白葉	3-76	新葉淺綠，葉脈暗綠，而後變為正常綠色	Rick & Butler， 1956
rv-3	網狀綠白葉-3	6-104	幼苗葉片淺綠，葉脈綠色	
rvt	紅色維管束組織	1L	根和莖維管束組織為深紅色	Clayberg et. al.， 1973
s	複合花序	2-30	花序和花數顯著增加	Rick & Butler， 1956
scf	子葉粗皮	1-76	子葉粗皮，有細條紋	Clayberg et. al.， 1966
scl	季節性退色致死	8-36	子葉常為淺黃色，幼苗早期會致死，但在強光時會回復	Clayberg et. al.， 1970
ses	半不稔性	1-25	植株小直立，幾乎無分枝，葉厚黃化，淺灰綠色，稔性降低	Stubbe， 1963
sf	茄葉	3-111	初期葉全緣，後生葉全緣捲葉，花萼和花瓣細呈絲狀	Clayberg et. al.， 1960
sfa	內卷葉矮生	1-152	植株更小，稍微分枝，羽狀內凹，黃色到黃綠色，葉脈紫色	Stubbe， 1963
sft	單束花	3	每花序上和花束少，非停心花序	Kerr， 1982d
sh	雪利	10L	果實成熟果肉黃帶淡紅	Clayberg et. al.， 1970
si	縮葉矮性	4-36	生長勢衰弱，葉小，葉皺縮，黃綠色	Stubbe， 1959
sit	乾燥狀葉矮性	1-32	植株弱小，葉短，逆境時呈萎凋狀	Stubbe， 1957
sl	無雄蕊	4-89	通常無雄蕊，果實變形	Rick & Butler， 1956
sn	焦毛狀	9	上表皮的茸毛很短，長的茸毛捲曲	Clayberg et. al.， 1966
sp	停心型	6-105	植株生長習性停心	Rick & Butler， 1956
spa	斑葉矮性	8-6	植型變小，葉片開始黃綠，而後變帶白化的黃綠斑，對維生素 B_1 有反應	Stubbe， 1959
spl	光澤葉	4-38	葉片具光澤的黃綠色，葉脈暗綠	Stubbe， 1963
spl-4	光澤葉-4	8L	葉鮮黃，葉脈色深，葉緣內捲	Borgmins， Meredith & Rick， 1974

sub	優雅矮性	11-89	葉小，節間短，羽狀葉狹而尖	Stubbe， 1957
sulf	黃色植物	2-prox	子葉黃綠，轉為淺黃，本葉黃色如不嫁接於正常植株上便壞死，常常發生體細胞轉換	Clayberg et. al.， 1960
sy	黃色子葉	3-46	子葉退色為黃色，本葉呈現黃色後轉為綠色	Clayberg et. al.， 1960
syv	白斑葉	4-8	生長點鮮黃，葉上有小白紋斑點可能會壞疽	Clayberg et. al.， 1973
t	橙黃色果肉	10-104	果肉和雄蕊橙黃色	Rick & Butler，. 1956
tab	衰弱	11-11	植株矮化，葉不規則，黃綠，葉脈紫羅藍色具壞疽斑	Stubbe， 1958
ten	貧弱	10-74	植株發育遲緩，葉淺綠，葉脈白色呈網狀，對維生素 B_1 有反應	Stubbe， 1957
tf	三裂葉性	5-31	葉通常祇有三裂，葉柄長	Rick & butler， 1956
tl	硫氨素缺陷型	6-27	葉黃斑早期會致死莖施用生素 B_1 則可存活恢復正常	Clayberg et. al.， 1966
tmf	主幹末端化	1L	主幹生長點末端化發育成單一個花朵，側枝正常	Clayberg et. al.， 1973
Tm-2	抗番茄嵌紋病毒病	9-22	對番茄嵌紋病毒病的多種生理小種如 0 ，1 和 2 抗病	Clayberg et. al.， 1960
tp	三裂葉	8-22	葉由三裂片組成，生長延遲	Clayberg et. al.， 1966
trs	tristis	8L	植株小，葉狹暗綠皺而下垂	Rick， et. al.， 1974
u	白皮	10-14	未熟果白皮，或淡綠，沒有綠肩	Rick & Butler， 1956
um	暗綠葉	1-119	成熟葉暗綠色，呈現萎凋，生長後期矮化	Stubbe， 1958
up	直立性花萼	11S	花萼直立並朝上	Garden， 1981
v-2	綠白色葉-2	2-65	在溫室生長時，初生葉色淡，在日間往往不能分辨	Clayberg et. al.， 1966
va	轉化葉	8-28	生長葉呈鮮黃綠表葉變正常	Stubbe， 1957
var	變色葉	7-0	生長葉呈鮮黃綠，漸轉變為綠色，植株稍小	Stubbe， 1957
veg	花無功能	2L	花畸形，常無功能	Barton， et. al.， 1954
ven	多脈葉	4-40	生長勢弱，葉小折摺，白黃色葉脈綠色	Stubbe， 1957
ver	黃色斑駁葉	4-17	幼葉黃色並有細斑點，葉脈綠色	Stubbe， 1958
vg	花無功能	4-89	花高度畸形，通常無功能	Rick & Butler， 1956
vga	叢狀矮性	8-36	植株小，節間短，幼葉淺藍綠，漸	Stubbe， 1963

			為暗綠	
vit	線狀葉片	3-111	葉畸形，後生葉更為粗曲絲狀	Stubbe， 1958
vms	不安定雄不稔	8-34	高溫下花藥異常	Clayberg et. al.， 1966
vrd	類病毒斑點	1-109	葉顯著屈曲生白色壞死斑，對環境敏感，在冬季最易發現	Clayberg et. al.， 1970
w	針金狀葉	4-20	葉片細呈針金狀	Rick & Butler， 1956
w-4	針金狀葉-4	4-28	葉同 w ，但表現不嚴重	Clayberg et. al.， 1966
wd	萎凋狀矮化	9-20	植株矮化，葉灰綠、遇乾旱，易脫落對嫁接敏感	Rick & Butler， 1956
wf	白花	3-44	花瓣色從淺黃到暗白色	Rick & Butler， 1956
wo	密毛	2-46	植株全體軟毛叢生，純結合個體無活力	Rick & Butler， 1956
wt	卷垂葉	5-46	葉緣葉軸卷曲，外觀下垂	Rick & Butler， 1956
wv	白綠芽生	2-41	子葉白黃色，新葉有白斑，而後回復綠色，植株發育遲緩	Clayberg et. al.， 1966
wv-2	白綠芽生-2	9-48	新葉白色，葉脈綠色而後轉為綠色	Clayberg et. al.， 1973
wv-3	白綠芽生-3	11-18	植株生長遲緩，白到綠具白斑紋	Borgmins， Meredith & Rick， 1974
x	配子致死	11-23	和 I 共存時使配子失去機能	Rick & Butler， 1956
Xa	黃葉	10-80	葉黃色，生長遲緩，純結合個體無生活力	Rick & Butler， 1956
Xa-2	黃葉-2	10-9	表現型同 xa ，純結合個體能存活	Clayberg et. al.， 1956
Xa-3	黃葉-3	10-38	如同 xa ，葉較綠	Clayberg et. al.， 1956
y	透明果皮	1-30	果實表皮無色	Rick & Butler， 1956
yg-6	黃綠葉-6	11-61	幼苗黃化，葉鮮黃，具白斑	Clayberg et. al.， 1966
yg-8	黃綠葉-8	8L	葉呈鮮黃色	Whalen， 1975
yv	黃白綠葉	6-35	新生葉黃綠，逐漸轉為綠色	Rick & Bulter， 1956

摘自 Atherton， J.G. and Rudick， J. 1986. The Tomato Crop 的 Chapter 2 "Genetics and Breeding" (Stevens M. Allen and Rick ， C.M.)

型病毒病更是番茄最大病害。以上病害都是藥劑難以防治的，因此祇有利用育種方法，自抗病種原轉移抗病基因到栽培品種，以育成抗多種病害，適應熱帶高溫多濕環境生長的新品種，方能解決夏季番茄生產難題。除此而外，在低溫潮濕地區則要注意晚疫病的防治，同樣此種病害藥劑防治效果不佳，培育抗病品種是唯一解決之道。

四、改進品質及耐貯運的育種

隨著各個國家經濟發展及社會生活習慣的變遷，消費者對番茄品質的要求日

新月異，舊有品質已經不能合乎需求，然而產品利用方式和不同國家人民食用習慣卻有很大的差別，以風味酸甜、顏色等品質的選擇上有所不同。一般來說對番茄品質共同性的特點如下：

果實大而整齊、果肉肥厚、種子少、子房室小、果形圓整、光滑無稜褶、果頂痕跡小、無裂果、果色鮮豔均勻、果蒂小、酸味略低、甜味高、風味良好及維生素等含量高、果硬度高、果肉具彈性耐擠壓、果壁肉厚、肉質緊密、水分較少，以上的特性都需要利用育種方法來改進之。

五、特定育種目標：

1. 適宜機械採收的鮮食和加工番茄育種

近來由於農村勞動人口短缺，農業生產面臨重大變革及轉型，想要利用有限的人力來生產日益增加消費量。倘若仍然停留在 50 年前的耕種方式，確實無利可圖，甚至不敷成本，在這先進科技，講求效率的工業社會，農業生產應該朝著企業化，機械化來邁進。番茄的生產本來就是勞力密集的產業，所以更要有新的育種方向，如無果梗節，果實硬度，開花結果或成熟期集中，枝葉短，不太旺盛，停心性強的停心型，適宜機械採收的特性。

2. 適宜整串採收省工的小果番茄

小果番茄是近十年來的新興水果用番茄，由於果粒小採收費時費工，況且都是非停心型的品種，開花與結果所間隔時間較長，採收時段分散，每次採收量少，需要人工多，在目前農村勞力奇缺下，是該產業的致命傷，為使此一新興作物能持續，育種策略要針對它的缺點加以擬定，所以，主要目標要選擇半停心性，側枝數少，開花結果及成熟要集中，果實硬度高，裂果少，特別是果穗成串排列整齊，果粒大小均勻及成熟期一致，利於整串採收以取代逐粒採收，確實達到省工栽培。

過去主要育種的成就及範例

世界上從事番茄育種和選種的工作已超過二百年，義大利人最早培育出新品種，當初選育不同果實形狀等特性的品種，早期北歐國家則針對果色來培育，英法兩國也著手於育種工作，美國在 20 世紀末致力抗病育種， 1925 年從自然突變、自然雜交和雜交育種上得到很大的成就。抗病選拔起始於美國的 Essary 和 Edgerton 兩氏自病田中利用混合選種方法選出耐萎凋病的品種“Tennessee-red”第一個抗病品種，並在 1912 年於嚴重的感病田區選得一優良抗病單株，培育出一個名為“Louisiana Wilt Resistant” 的品種。 1920 年末葉，由雜交育種在後裔世代利用選拔方法，培育出很多品種，如 Pritchard 氏就以 Globe 和 Marble 雜交育成適應性強又抗萎凋病和白絹病的品種“Marglobe”。 1930 年中葉育種家發展了改良選拔效力的過程，如將極早熟的栽培品種 “Red Currant （*L. pimpinellifolium*）”和大果停心型品種“Bison”雜交，在 F_2 世代先在花期時選早熟，第二步驟選停心性，由此法

產生早熟停心，平均果的直徑 2.5 cm 的品系“Farthest North”，這品種在北緯度地區栽種多年，也是重要的單偽結果性狀的來源。而後大多數的育種工作都是由商業組織機構來進行。有關各病害和耐熱性等育種的成就分別敘述如下：

一、病毒病（ Virus diseases ）：

為害番茄的病毒有番茄嵌紋病毒（ ToMV ），馬鈴署 Y 病毒（ PVY ），胡瓜嵌紋病毒（ CMV ），頂葉黃化捲曲病毒（ TYLCV ），和番茄斑點萎凋病毒（ TSWV ）等等，番茄嵌紋病毒病和頂葉黃化捲曲病毒病的漫延和流行最快速最嚴重。

1.番茄嵌紋病毒病（ Tomato Mosaic Virus ）：

番茄嵌紋病毒病在溫室內密集性栽培的生產狀況是一種很難防治的病害，育種家對病毒病所費的心力，不亞於萎凋病和青枯病。番茄嵌紋病毒病的抗病性育種工作，由美國夏威夷農業試驗場利用 *L. esculentum* ， *L. peruvianum* ， *L. pimpinellifolium* ， *L. hirsutum* 和 *L. chilense* 的種間複合雜交育種法，培育出具有 Tm-1 和 Tm-2 的品系，而 Tm-2^a 基因則是自 *L. peruvianum* （ PI 128650)分離出來的。 1980 年 Hall 和 Bowes 兩位研究者，研究結果發表，三個顯性複對抗病基因和病毒小種間的特殊反應（表二）。 Tm-1/+雜結合體和 Tm-1/Tm-1 純結合體，對病毒小種 O ， OY ， 2 具耐病反應，中度嵌紋病徵出現，而對小種 1 和 1 ， 2 為感病反應。 Tm-2/+雜結合體對病毒小種 O ， OY ， 1 具有抗性反應，但呈系統過敏性壞疽反應，而 Tm-2/Tm-2 純結合體為正常抗病反應，無病徵，對小種 2 和 1 ， 2 兩者均為感病反應， Tm-2^a/+雜結合體對所有小種呈現抗性反應，但有系統過敏性的壞疽反應，而 Tm-2^a/ Tm-2^a 純結合體為具對所有小種呈現完全抗病反應，無病徵； Tm-1/+， Tm-2/+兩基因雜結合個體對小種 O ， OY ， 2 具抗病反應，對小種 、呈抗病但有系統過敏性壞疽反應，對小種 1 ， 2 則為感病反應。 Tm-1/+， Tm-2/Tm-2^a 個體對小種 O ， OY ， 1 和 2 呈抗病反應，但對小種 1 ， 2 雖有抗病反應，然而仍呈系統過敏性壞疽反應。

表 2. 番茄嵌紋毒素病病理小種與番茄各抗病基因型的反應*

番茄嵌紋毒素病 病理小種	基因型							
	Tm-1/+	Tn-1/Tm-1	Tm-2/+	Tm-2/Tm-2	Tm-2^a/+	Tm-2^a/ Tm-2^a	Tm-1/+ Tm-2/+	Tm-1/+ Tm-2/ Tm-2^a
O	T	T	R*	R	R*	R	R	R
O，OY	T	T	R*	R	R*	R	R	R
1	S	S	R*	R	R*	R	R*	R
2	T	T	S	S	R*	R	R	R
1，2	S	S	S	S	R*	R	S	R*

*摘自 Hall and Bowes 1980

T＝ 耐病反應、中度嵌紋病徵　S＝ 感病反應、呈明顯嵌紋病斑

R＝ 抗病反應、無病徵R*＝ 抗病反應、但偶而會有壞疽病斑出現

2.番茄頂葉黃化捲曲病毒病（Tomato Top Yellow Leaf Curl Virus）

它是經由菸草粉虱傳遞病毒嚴重為害番茄的生長，在埃及的夏秋兩作受損百分之百，通常都超過百分之八十的減產， Pilowski 和 Cohen 兩氏在 1974 年發表 *L. chilense* 和 *L.* peruvianum 的幾個種原具有抗性， *L. pimpinellifolium* (LA121)具有耐病性。 Hassan 等人在 1982 年篩選具抗病的 180 個栽培品種和育成品系，結果全部極感病，並且也測試 26 個野生種種原，發現 *L. cheesmaii* ， *L. hirsutum* ， *f glabaratum* ， *L. peruvianum* ，和 *L. peruvianum* ， *f. humifusum* 具高抗性。 *L. pimpinellifolium* 的種原則有不同，但到 1982 年更清楚此病毒的抗病性是複雜遺傳性。因此育成具高水準抗病性的品種是刻不容緩。到 1996 年為止世界上的研究學者已篩選檢定出的耐病或抗病的種原和品種。

表 3. 番茄頂葉黃化捲曲病毒病的抗病性種原及品種

抗病性類別	品種或野生種
耐病	Ty-king F_1 ， Fiona F_1
	Ty-52 ， Tainan ASVEG #6
抗病	H24 ， *L. chilense*
	(LA2723 ， LA1969 ， LA1960 ，
	LA1962 ， LA3112...etc.)

二、青枯病（Bacterial wilt）

熱帶及亞熱帶的平地，青枯病是生產番茄的主要病害，它能嚴重阻礙在高溫多濕之亞熱地帶的生產。夏威夷農業試驗場發現一個抗病種原 *L. pimpinellifolium* (PI127805)， Acosta ， Gilbert 和 Quinon 等研究者於 1964 年培育了具高抗病性的栽培品種，並指出該抗病性與溫度有複雜的反應。菲律賓的蔬菜研究中心育成了抗病的 VC 系列的品系。位於台灣的亞洲蔬菜研究發展中心也在 1972 起到 1997 迄今致力於抗病性的育種工作已先後育成上百個抗病品系（其代表性品系如： CL8d ， CL9 ， CL11d ， CL143 ， CL1131 ， CL2729 ， CL5915 ， CLN65 ， CLN229 ， CLN236 ， CLN363 ， CLN475 ， CLN657 ， CLN698 ， CLN1460 ， CLN1462 ， CLN1464 及 CLN1466 等系列品系）。

有關青枯病抗病性遺傳，不同研究者使用不同抗病材料，所得結果也不相同，即使使用同一種材料，在不同時期及不同溫度環境下行抗病檢定，也可能得到不同結論， Acosta J.C. 1964 年發表野生種 *L. pimpinellifolium* (PI127805A)的抗性由數個不完全顯性或隱性基因控制，抗病基因與停心型基因連鎖，幼小植株表現不完全顯性，成長植株則表現隱性， Wenstead 氏和

Kelman 氏在 1952 年認為青枯病的抗性遺傳可能受多基因控制，Henderson，W.K. 進一步指出是由累加性的多隱性基因控制，夏威夷的 Gerbert 在 1974 年發表育成的 “Kewalo” 品系由 *L. Pimpinellifolium* PI 127805A 的選拔系統 HES 5808-2 為親本所育成的，其抗病性是受少數主效基因控制，毋本自美國北卡羅萊納農業試驗場引進在日本舊園藝試驗場興津分場而育成 BF Okitz-101，另外也自夏威夷引進 H7998 而命名為 LS89。

亞蔬中心 Vallelar 和 Lai 兩氏在 1973-1979 年利用 Vens，Saturn 和 VC 品系育成中抗青枯病品系如 CL8d，CL9，CL143，CL1131 及 CL2729 等，但是認為抗病性為多對隱性基因控制。1979~1992 年 Opena 和 Chen 兩氏利用這些抗病種原再度培育出更抗病品種，如 CL5915，CLN65，CLN229，CLN 236，CLN 475，CLN 657，和 CLN 698 等系列，並且利用回交法培育後代做遺傳研究，1990 年發表青枯病的抗病性是類似量性狀，由數對顯性主效基因和數目不詳的微效基因控制。

世界各國研究學者所發現或育成的品系（種）列於下表：

表 4. 青枯病的抗病性種原及來源

品種名稱/種原代號	種原數	高抗病種原數	來源（國家）
VC series	89	11	Philippines
CRA series	31	19	Guadeloupe
Caraibe	1	1	(French Antilles)
MT series	10	8	Malaysia
Saturn，Venus	2	0	North Carolina，USA
Rodade	1	0	South Africa
Scorpio	1	1	Australia
Katugastota	1	1	Japan
BF 101，LS89	2	2	Japan
1-2，PI406994	2	2	Panana
H7996	1	1	Florida，USA
H7997	1	1	Florida，USA
H7998	1	1	Hawaii & florida
L 366	1	1	Unknown
L285	1	1	Taiwan
總數	142	43	

三、半身萎凋病 (Fusarium wilt)

1905 年美國育成了具有多對基因的水平抗病的兩個品種。“Marglobe 和 Prichard。由於這兩個品種僅為耐病而已，因此在 1940 年育種專家和病理學

者找到了一個具有單一顯性免疫性 I 基因的種原 Missouri 160 (*L. pimpinellifolium*)，而後具有 I 抗病基因的品種 Pan America 就是由此種原育成的。並在當時許多具有 I 基因的抗病品種，都被推廣到主要番茄栽種地區。在培育新品種已經很普通利用斷根法或浸根法來篩選。到了 1945 年時已報導有新的生理小種，但是到了 1960 年才在美國佛羅里達州發現，並被利用培育新的抗病品種。 1955 年 Alexander 和 Hoover 兩氏已確定在一些種原中具有抗小種 I 種原，這些在佛羅里達州未鑑定。其中 PI126915 (由 *L. pimpinellifolium* 和 *L. esculentum* 雜交得來的)為最好的育種種原，而且這一抗病基因為一顯性基因，同時這個種原也具有抗小種 1 的 I 基因。 1996 年 Cirulli 和 Alexander 兩氏認為抗小種 I 是一獨立的基因，並建議稱為 I-2 基因，美國佛羅里達州農業試驗場所推廣的品種"Walter"具有這個抗病基因。自從萎凋病病菌小種 2 在其它生產地區成為重要病害，這一抗病基因已普遍轉移到許多的栽培品種上。1983 年 McGrath 和 Toleman 兩氏在澳大力利亞發表了小種 3 ，並且在 *L. pimpinellifolium* 的 BTN472， PI124039，和 *L. esculentum* 的 US628 和 US629 等品種。對此小種具有抗病性，然而 L. escu.的品系較 *L. pimp* 的品系抗病性低，同時這兩個不同來源的種原，所具抗病性和遺傳性也不簡單，遺傳力也祇有中等。

四、晚疫病（ Late Blight ）

1946 年致力研究尋找晚疫病的抗性，1964 年 Andrus 氏發現 17 個番茄品種具有各種程度的抗病性。1955 年 Gallegly 和 Marvel 兩氏相信對晚疫病菌的抗病性有兩種類型，第一型是一個顯性基因（ph），它對小種 O 具有抗病性，第二型為具量性狀的多對基因抗病性，後者之抗病性是抗小種 O 和 1，但當環境很適合病原菌繁殖時，它就不會表現滿意的抗病性。1966 年 Pecaut 和 Laterrot 兩氏發表 West Virginia 63 所具的抗病性比在法國所測試的生理小種還要抗病。因此認定這品種具有單一顯性抗病基因和複對基因抗病性。1997 年 Wang，Black，Hanson 和 Chen 等從收集的 6,900 個種原篩選獲得兩個屬於 *L. pimpinellifolium* 野生種 L3707， L3708，及兩個屬於 *L. hirsutum* 野生種的 L3683，L3684 均表現高度抗病，這四個抗病種原在晚疫病發生嚴重的印尼、尼泊爾、菲律賓、坦尚尼亞及泰國的高冷地區田間測試結果，也同樣表現抗病。抗病遺傳研究以 L3684，L3708 與感病的 Moneymaker 雜交，再與亞蔬中心育成耐熱品系 CLN657 雜交所執行的 F_1，F_2，BC_1F_1 及 BC_1F_2 後代族群遺傳分離結果，顯示 L3684，L3708 具抗病性是由一對部份顯性基因所控制。

五、黑黴病 (Black Leaf Mold)

1992-1996 年亞蔬中心 Wang ， Black ， Hanson 和 Chen 等自種原篩選獲得抗病種原 *L. hirsutum* (PI134417)和 *L. esculentum* (PI2544655)與四個亞蔬中心育成耐熱但感病的品系 CLN657 ， CL143 ， CLN698 及 CL5915 雜交，

得到四個雜交組合，每組合分別測試 P_1，P_2，F_1，F_2，BC_1F_1 和 BC_1F_2 的個體，在 F_2 世代族群的抗感遺傳分離經由卡方分佈測定結果得到抗：感之比例為 1:15，而 BC_1F_2 族群的抗感遺傳分離，其抗：感之比例為 1:63，由此結果顯示兩個抗病種原 PI134417 及 PI254655 所具之抗病性是由兩個隱性基因所控制並有互補作用。

六、根瘤線虫（Root-knot Nematode）

1944 年，美國的 P.G. Smith 研究者以栽培種和野生種秘魯番茄（*L. peruvianum* var. *dentatum*）的 PI128657 雜交，並利用未成熟種子做胚培養該種間雜交後代。1956 年 Gibert 氏再利用這個種間雜交後代與栽培種回交，育成 HES4969 和 HES4846 兩個抗病品系，並經由遺傳研究結果發表根瘤線虫的抗病性是由一對顯性基因所控制。早期夏威夷的 Anahu 品種和加州的 VFN8 品種，以及許多抗性品種都是利用這兩個抗病品系為親本所培育出來的。細胞遺傳學上研究，確定該病基因位於第六條染色體上，定名為"Mi"基因。該基因對於 M. javanica， M. acrita 和 M. arenaria 等三個生理小種也都呈現抗性。1974 年 Rick 和 Fobes 兩氏發現 VFN8 和其他抗病品種同樣具有同功異構脢酵素(Acid phosphatase)這個變異體原先祇在 *L. peruvianum* 野生種上才有。1980 年 Medina-Filho 和 Stevens 兩氏研究發表了許多抗病品種和育成品系，並且發現感病品種的基因型為 APS-$1^{+/+}$，或 APS-$1^{1/1}$，抗病的雜交一代品種的基因型為 APS-$1^{+/+}$或 APS-$1^{+/1}$ ，在所有夏威夷來源抗病品種的基因型全部是 APS-$1^{+/+}$，而基因型為 APS-$1^{1/1}$ 的則全部由美國加州大學育種計畫所育成的。同時也發現 APS-1^{1} 和 Mi 兩個基因有連鎖現象，當利用夏威夷來源品種和加州來源品種培育抗病品種的早期世代時，發現這兩基因會發生交叉現像，經由連鎖遺傳性的測定，證實在篩選抗病性時，可以基於 Aps-1^{1} 的標記基因來確定抗病與否，而且鑑定這同功異構脢酵素的標記基因之電泳技術（electrophoretic technique）在育成抗線虫品種上幫助很大，近年來利用這技術培育成功的雜交一代抗病品種，已在世界各地推廣栽種。

七、耐熱、抗多種病害品系的培育成果

亞蔬中心自 1972 年成立至 1997 年為止，25 年來著手熱帶番茄品系的培育，育種目標主要為耐熱性，抗多種病害及優良品質，育種策略及方法是採用階段漸進式(圖 1.)來階段性完成所擬定的育種目標。第一階段於 1972-1980 年間完成耐熱性及抗青枯病，種原篩選和品系的培育，共自 4050 個種原中篩選得到 38 個耐熱品系，經由雜交育種法以耐熱和抗青枯病種原組合培育得到 CL8d， CL9， CL11d， CL143 等品系；第二階段於 1981-1983 年間完成耐熱性、抗青枯病和番茄嵌紋病毒病品系，共育成 CL1131， CL5915 及 CLN65 等系列品系；第三階段於 1984-1986 年間再完成根瘤線虫抗病性導入 CL5915 和 CLN65 品系而育成 CLN236， CLN229 及 CLN363 等系列抗多種病害及耐熱品系；第四階段於 1987-1990 年間完成 CLN657， CLN698 和 CLN466 除

具備耐熱抗多種病害外還具果硬、耐裂果、大果粒；第五階段於 1991-1997 年間特別育成 CLN1460， CLN1463 及 CLN1466 等品系，主要提高果實硬度、大小及耐熱性和青枯病的抗病性。以上育成品系在全球 32 個國家，推廣命名了 93 個品系，其中非洲有 10 個國家，推廣栽種 23 個品系，亞洲及太平洋地區有 16 個國家，推廣了 38 個品系，拉丁美洲有 5 個國家，推廣 6 個品系，大西洋地區有兩個國家，推廣了 5 個品系，在台灣地區有加工番茄品種台南選 2 號和台南 3 號分別在 1982 年和 1986 年命名推廣栽種，另外引種評估美國 peto seed 公司的 UC204A 品種給可果美公司做為機械採收品種，於 1995 年機收面積有 30 公頃，夏季鮮食大果品種台中亞蔬 4 號 (圖 2.) 和花蓮亞蔬 5 號分別在 1989 和 1990 命名推廣為夏作主要栽種品種，至 1997 年止年度栽種總面積已超過 500 公頃，佔夏作種總栽培面積百分之八十。夏季鮮食小果品種台南亞蔬 6 號於 1996 年 (圖 3.) 命名推廣栽種，面積已達 800 公頃。

國內外私人公司不遺餘力的培育及開創新品種，國內農友種苗公司在 25 年前育成的鮮食大果一點紅品種"Ky301"風靡全省，至今仍是秋冬栽培品種，近年來新品種如雙福、朱慧、新光也都上市，其他公司如生生種子公司推出的萬人緣、一點紅、豐榮、金鈴等也分散在各地種植。另外鮮食小果品種大部份品種由農友種苗公司推出，如早期的女兒紅、聯珠、四季紅，及近六年來的聖女及朱麗等品種在市場佔有率很高，至於加工番茄品種，由於加工番茄產業已經沒落，現今只有台灣可果美公司繼續生產果汁、番茄醬等產品，該公司所栽種品種，全部由日本可果美公司提供，如早期的 Tk70 幾乎是所有加工番茄主要原料品種，近十年來才由新品種 TK10 ， TK11 ， TK18 ， TK20 ， 和 TK21 取代之。國外美國 peto seed 公司育出很多著名及普遍栽種的品種，鮮食大果品種如 Ace-Hy， Better Boy， Beldor， Bigest， Carmen ， Cavalier， Celebrity， Contessa， Duchess， Empero， Hypak， Luxor ， Monte Carlo ， President ， San Remo ， Cal-Ace ， Pakmor ， Tropic ， Flordade， Caribe， Walter， Heatwave， Heatmaster。 加工番茄如 Nema 1200 ， Nema 1400 ， Nema 1401 ， proc #2 ， peto111B ， Petopride#2 ， Nemapeel ， Nema-mech ， Early peel ， peto 86 ， peto 98 ， UC82B ， UC204A ， Rio Grande ， 及 Peto mech II 等，鮮食小果品種如 yellow pear ， yellow plum ， sweetie red ， cherry small ， sweet cherry ， small Fry VFN 等等。其他如美國的 Heinz ， Harris Moron ， Sunseed ， 和 Ferry Morse 等公司，荷蘭的 Sluis & Groot 公司，日本的 Takii 公司及義大利的種子公司等主要番茄生產國也都育出很多抗病及品質優良的品種供他們本國種植或外銷。

實例一：亞蔬熱帶番茄育種計畫的流程

階段/年份	育種方法	育成之代表品種（系）	主要特性
第一階段 1975-1980	單雜交 *系譜法	CL2729，CL8d，CL9，CL143，CL11d	中小果，耐熱 抗青枯病
第二階段 1981-1983	雙雜交 *單籽後裔法 *系譜法	CL1131 及 CL5915 等系列品系	中小果、大果 耐熱性強，抗青枯病 抗番茄嵌紋病毒病
第三階段 1984-1986	回交 *單籽後裔法 *系譜法	CLN363，CLN236 及 CLN229 等系列品系	中果、大果 耐熱性強，抗青枯病 抗番茄嵌紋病毒病
第四階段 1987-1990	回交 *單籽後裔法 *系譜法	CLN657，CLN466 及 CLN698 等系列品系	中果、大果，耐熱性強 抗青枯病，抗番茄嵌紋病毒病，抗根瘤線虫，果硬，耐裂
第五階段 1991-1996	雙雜交/回交 *單籽後裔法 *系譜法	CLN1466，CLN1460，CLN1464，PT4675B 及 CHT1043 等系列品系	中果、大果，耐熱性強 高抗青枯病，抗番茄嵌紋病毒病，抗半身萎凋病，果硬，耐裂果
特別計畫 1983-1996	雜交一代品種	Taichung ASVEG #4 Hualen ASVEG #5 FMTT33，FMTT553，FMTT556，FMTT593 CHT264，CHT265 及 CHT104，CHT437 等品系	耐熱性高，抗青枯病 抗番茄嵌紋病毒病，抗根瘤線虫，果硬，耐裂果

實例二、台中亞蔬四號的育成過程

一、親本的育成：

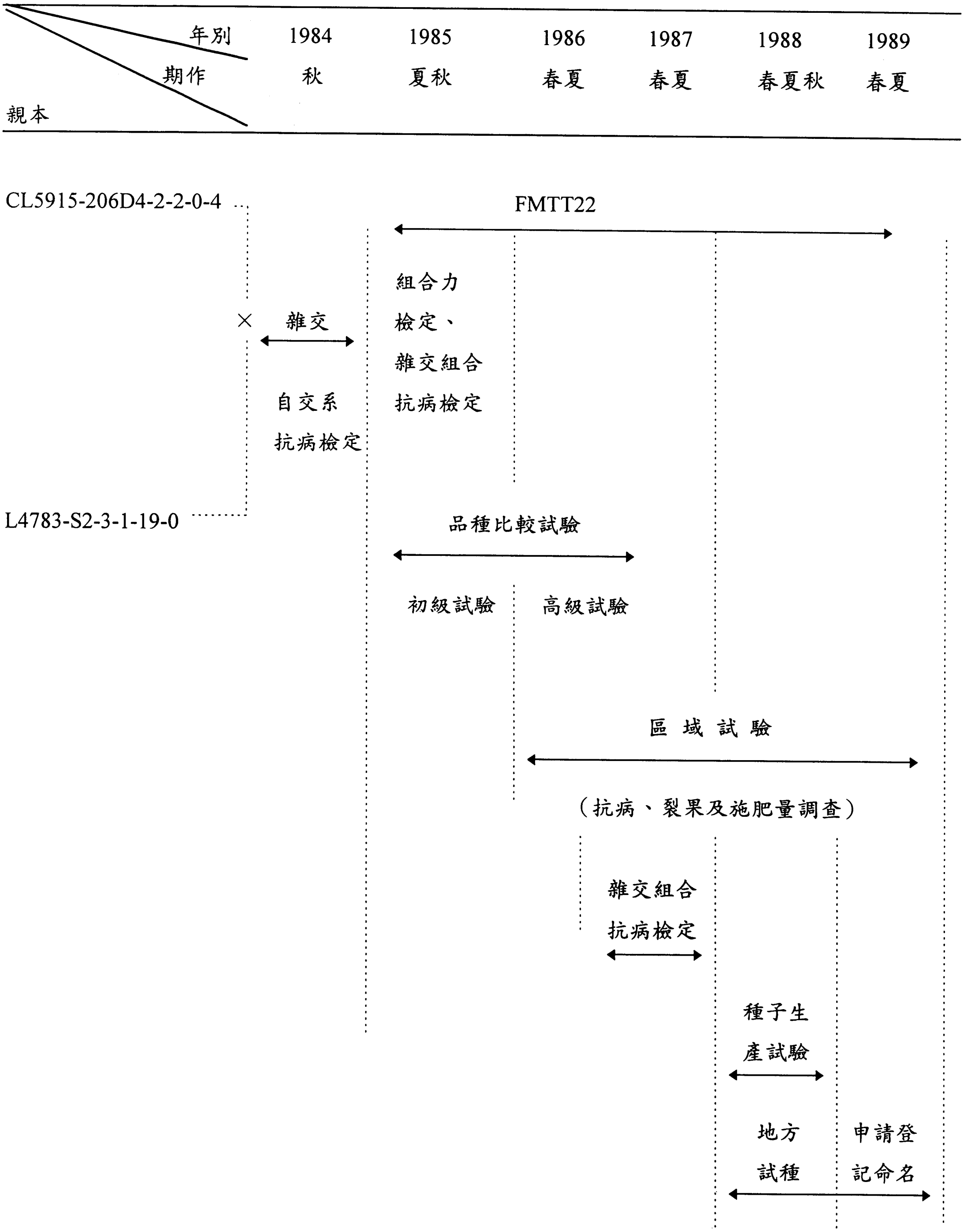
1.母本為 CL5915-206D$_4$-2-2-0-4 係由 CL1131-0-0-38-4-0 x L127 單雜交組合 F$_1$ 與 CL9-0-0-1-3 x CL949-0-8-0 單雜交組合 F$_1$ 之雙雜交後代，利用單籽後裔法世代繁殖培育，母本於 1984 年選拔育成，其系譜如下：

年代	世代	系譜
70 年 10 月（單雜交）		CL131 F$_5$-38-4-0 × L127；CL9-0-0-1-3(F$_6$) × CL949-0-8-0(F$_5$)
71 年 1 月（雙雜交）		CL5576 (F$_1$) × CL5579 (F$_1$)
71 年 4 月	F$_2$ (DC$_1$)	CL5915 DC$_1$
71 年 7 月	F$_3$ (DC$_2$)	CL5915 DC$_2$ 單籽後裔法世代繁殖
71 年 10 月	F$_4$ (DC$_3$)	CL5915 DC$_3$
	TMV 抗病性篩選	↓
72 年 4 月	F$_5$ (DC$_4$)	CL5915-206D$_4$
	耐熱性篩選，單株選拔	↓
72 年 8 月	F$_6$ (DC$_5$)	CL5915-206D$_4$-2
	抗青枯病篩選，單株選拔	↓
72 年 11 月	F$_7$ (DC$_6$)	CL5915-206D$_4$-2-2
	品系株行試驗觀察	↓
73 年 3 月	F$_8$ (DC$_7$)	CL5915-206D$_4$-2-2-0
	耐熱性篩選，單株選拔	↓
73 年 9 月	F$_9$ (DC$_8$)	CL5915-206D$_4$-202-04

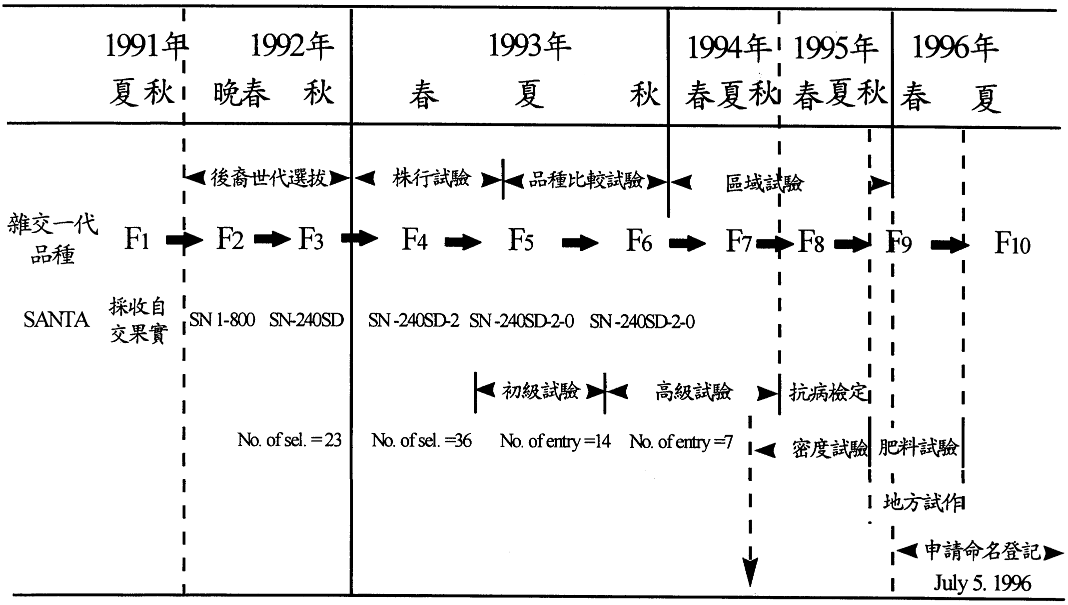
2.父本（ L4783-S2-3-1-19-0 ）之選育，係自高雄縣彌陀鄉收集之地方栽培品種彌陀黑柿經過五個栽培世代之純系選拔而成，其選育過程如下：

年 代	世 代	系 譜
70 年 10 月	第一世代	L4783
	單株選拔	
71 年 10 月	第二世代	L4783-S2
	株行試驗，單株選拔	
72 年 3 月	第三世代	L4783-S2-3
	株行試驗，單株選拔	
72 年 10 月	第四世代	L4783-S2-3-1
	株行試驗，單株選拔	
73 年 3 月	第五世代	L4783-S2-3-1-19
	品系觀察試驗，已純化混合採種	
72 年 10 月 19-0	第六世代	L4783-S2-3-1-

二、台中亞蔬四號育種流程圖



實例三、台南亞蔬六號的育成過程



主要育種實施方法及過程

作物品種的評估、改良及培育不外乎 1.引種 2.選種 3.培育自交系 4.培育雜交一代等四種程序，下列分別詳述各種程序的實施方法和過程。

一、引種：

引種並不是真正的育種，而是育種程序的起源，它乃是利用向各地蒐集各研究機構或種子公司現成育成的材料來試種評估或利用做育種材料，基本上是從兩方面著手，一是引進自然界優良野生種所具備抗病性、抗虫性、抗逆境及特有品質為主要育種材料的來源，加以導入栽培種所缺乏的特性來改良培育出適應新環境的品系（種），達到栽培作物生產的目的。二是收集國內外農業研究機構或種子公司所育成的栽培廣泛的優良品種，直接供應本地栽培的需要或間接做為雜交育種或選拔育種材料，此種方法又經濟又有效的育種程序，雖然不能完全依賴外來的優良品種作繁殖推廣，但在通常在剛成立的試驗機構或開發中的國家，如要在短期內提高某產業的生產力，常常都利用引種的方法來節省時間及經費，因為一個優良自交系的培育成功，少則 7-8 年，多則數十年，故循著一般育種步驟，育成適合當地優良品種，非但緩不濟急，反而無所取材，並徒勞無功，對無恆心的育種者或決策者是一致命的打擊。

引種可以循著下列四個步驟來進行 1.引進材料直接試種繁殖利用或推廣 2.引進材料加以選種試種繁殖利用 3.引進材料與當地適應性強的品種雜交得雜交一代品種 4.引進材料與當地品種循雜交育種方法培育新的自交系。

一個新興或開發中的國家對引種事業認識不深，也常沒有組織及決策，所以國外新品種常常由學者、傳教士、商人、旅行者、隨意的攜帶進進出出，也常將本國前所未有的病虫害介入或將當地的病源攜出，造成不必要的困擾及為害，因此一個有組織有系統的引種程序是一個國家農業發展成功的必備條件，今將引種的方法敘述如下：

1.引種及登錄：

研究學者、育種家自國內外研究機構或種子公司引進的栽培品種或野生種，應詳細記載（1） 每一品種的來源由何地（國）、機構、公司輸入（2）該品種屬於栽培種、野生種、種別、雜交一代或固定種（3）每一品種的主要特性—抗病性、抗虫性、耐熱性、耐鹽性、耐旱性、耐水性等（4）引進的年、月、日（5）特殊特性，並交專門種原庫機關辦理登記，由種原庫保存小部份，其餘由原引種單位，進行觀察試驗及抗病性檢定。

2.觀察試驗：

每年將引進的品種，每種種植一畦，畦長 4.8 公尺，畦寬 0.9 公尺（包括畦溝為 1.5 公尺），行距：停心型（有限）型，1.5 公尺（單行畦），非停心型（無限）型，0.6 公尺（雙行植），株距均為 0.4 公尺，並於春或秋種植，本地栽培種為對照，夏季則行耐熱性篩選及抗病性檢定的評估，而春、秋作主要調查各項重要農藝和園藝性狀，例如農藝性狀有莖色、生長勢、生長習性、開花期、花序形狀、結果期、結果率、枝葉覆蓋性及緊密性、成熟期等；園藝性狀有果形、果色、果肩色、果重、果實稜褶情形、子房心室、果硬度、裂果、落果難易、果實在果穗上的成串性、果壁肉厚度、著色均勻性、果頂痕跡大小及形狀、果蒂大小、果梗長短、果梗摘除難易、果心大小及風味品質等。若是野生種，則要觀察開花習性，自交親合性，如有自交不親合者必須採蕾期人工自花授粉，促使結果採種。

3.抗病性檢定

自國內外引進的栽培品種或野生種，如在引進資料中已載明具備病害的抗病性時，在利用做育種材料前，應再次利用各種病害抗病性檢定法加以檢定，以確認所具備的抗病性，以免延誤雜交育種的時效。

二、選拔育種法：

選拔育種法是育種家所採用最早的育種方法，它的主要目的不是要產生新型或新品種，而是自已經收集到的栽培品種或地方品種的集團中，加以選出在原有集團內的優良個體，再加以純化繁殖之，以保存原品種的特色。通常所收集的地方品種都是由農民自行留種多年，在無意中可能混雜，而未經過育種專責機構進行純度檢定，所以每當收集這些材料時，應再利用選拔育種方法來處理，其方法有混合選種法和純系選種法。

1.混合選種法（mass selection）：

又名集團選拔法，是最粗放的選拔育種方法，其實施方法為在栽培田區的每

一種集團中選拔生育旺盛及具優良園藝性狀與原地方品種相類似的單株約50 株，每株平均採收兩個果實，混合採收種子，供次一代種植，株數均為2000 株，再自該集團中選拔優良的 50 個單株，混合種子再供次年種植，依此類推直到該品種的性狀純一為止，然後再與原種行品系比較試驗以確定選種的成效，實施程序如圖 7.。

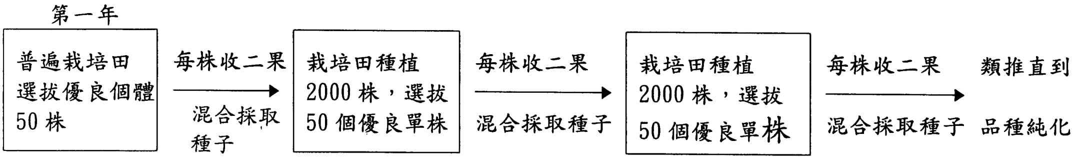


圖 7. 混合選種之模式圖

2.純系選種法（ pure line selection ）：

純系是種質組織相同，而其種質又未曾發生變化之一個或數個單株的後裔，一般來說，在品種改良上，凡自交作物或常異交作物，由一單株，一單穗(果)繁衍的後裔；異交作物之單株或單穗（果），經過若干代之連續自交，所選出不再分離之系統，或由無性繁殖之作物，由一種塊繁殖的後裔，皆得稱之為純系，純系選種法包括四種不同步驟：

(1)單株選拔：於大栽培田區中，選拔俱有優良園藝特性生育旺盛的單株40-50 株，並分別編號、調查記錄主要的特性，成為品系。

(2)分離純系：將這些選拔品系，每品系各種植 40 株，進行品系間觀察，以肉眼鑑定優劣及有無分離現像，選拔 4-5 個優良品系，然後在這些優良品系內，每品系選拔 1-2 株優良單株，編號、調查記錄之。次一代品系種植 24 株繼續選拔、編號、調查記錄，如此重覆步驟，直到所選拔品系性狀一致不再分離，成為固定品系。

(3)鑑定後裔品系：純系選種之目的，主要在於選拔優良的純系，待品系不再分離成為固定品系時，與地方品種及原品種正式進行品系比較試驗，每品系 24 株、 2 行、二重覆，觀察評估產量，園藝性狀等，以比較新品系的優劣。

(4)繁殖推廣：品系比較試驗結果，一切性狀、品質、產量、優於原栽培種，進行繁殖種子推廣，推廣之後每年調查農民栽培品種之產量及品質。

三、雜交育種

番茄是一天然自花授粉作物，其天然雜交率僅 2-3%。主要育種方法除了引種、選拔法是育種的根本及起源，真正培育、改良一個作物，創造適應新環境，突破產業生產瓶頸的重要方法即雜交育種和雜交一代品種育種，前者是利用雜交育種法來選配新雜交組合，再從其後裔集團中來選育優良個體，並根據欲導入各種抗病性遺傳的不同，所採用的育種方法有系譜法、改良式混合法、單籽後裔法、改

良式單籽後裔法、限制回交法及全回交法等六種來培育新的自交系；後者則可利用雜交育種所育成之具優良園藝性狀及抗多種病害的自交系為雜交親本，再與優良引種固定品種或選拔育種選育的固定品系，雜交培育雜交一代品系，以下詳述各育種方法的程序和實施方法。

1.一般雜交育種法

(1) 親本選擇與雜交

A. 親本選擇：依據育種目標，選出具有所期望之優良性狀的品種為雜交親本，並且儘可能至少具備有一個顯性狀的標記基因，以隱性基因者為母本，以便將來第一代雜種，容易鑑定雜交成功與否，可以有效節省人力及時間，順利執行育種工作。

B. 雜交方法：先了解各父母本開花期之早晚，通常父本至少提早 10 天種植，安排種植時期，若是不知道父母本開花期時，則父本提早 14 天種植。去雄時期選擇，上午選擇開花前 2-3 天的花蕾為宜，小心去除雄蕊，並在開花當天上午九時以後授粉，授粉後掛上已標記父母本名稱，授粉日期的小塑膠牌，一般一花序做 3-4 朵花，每組合雜交 10 朵花， 足夠採收 100 粒以上種子。

(2)後裔分離及選拔

A. 系譜法：（參閱圖 8.）

a. F_1 與 F_2 世代的培育及選拔：雜交組合所得雜交種子，每組合種植 10 株，株距 0.4 公尺，行距0.6 公尺，雙行植，開花前、結果期及成熟期鑑定雜交種後，自各株平均採 5 個自交果實，碎取種子得 F_2 世代，將 F_2 種子混合之，每組合種植 1000 株，於結果期及成熟期選拔具有高結果率，園藝性狀優良個體 50 株，（ F_2 世代選拔率為百分之五），然後分別編號、調查、記錄成為 F_3 系統。

b. F_3 世代的培育及選拔：所選拔的 50 個系統，每系統各種植 1 畦 40 株，行株距為 1.5 公尺 x 0.4 公尺，成熟期進行系統選拔，選拔 10 個優良系統，再行優良系統的系統內選拔，每系統選 2-3 株優良單株（選拔率為百分之六），編號，調查、記錄，共可得 20-30 個品系。

c. F_4 與 F_5 世代的培育及選拔：選拔之 20-30 個品系，每品系種植一畦 24 株，進行株行試驗，選拔 8 個優良品系，每品系選拔 1-2 單株（選拔率為百分之二），編號，調查、記錄，共有 15 個品系。F_5 世代執行步驟與 F_4 世代相同，共選得 10 個品系。

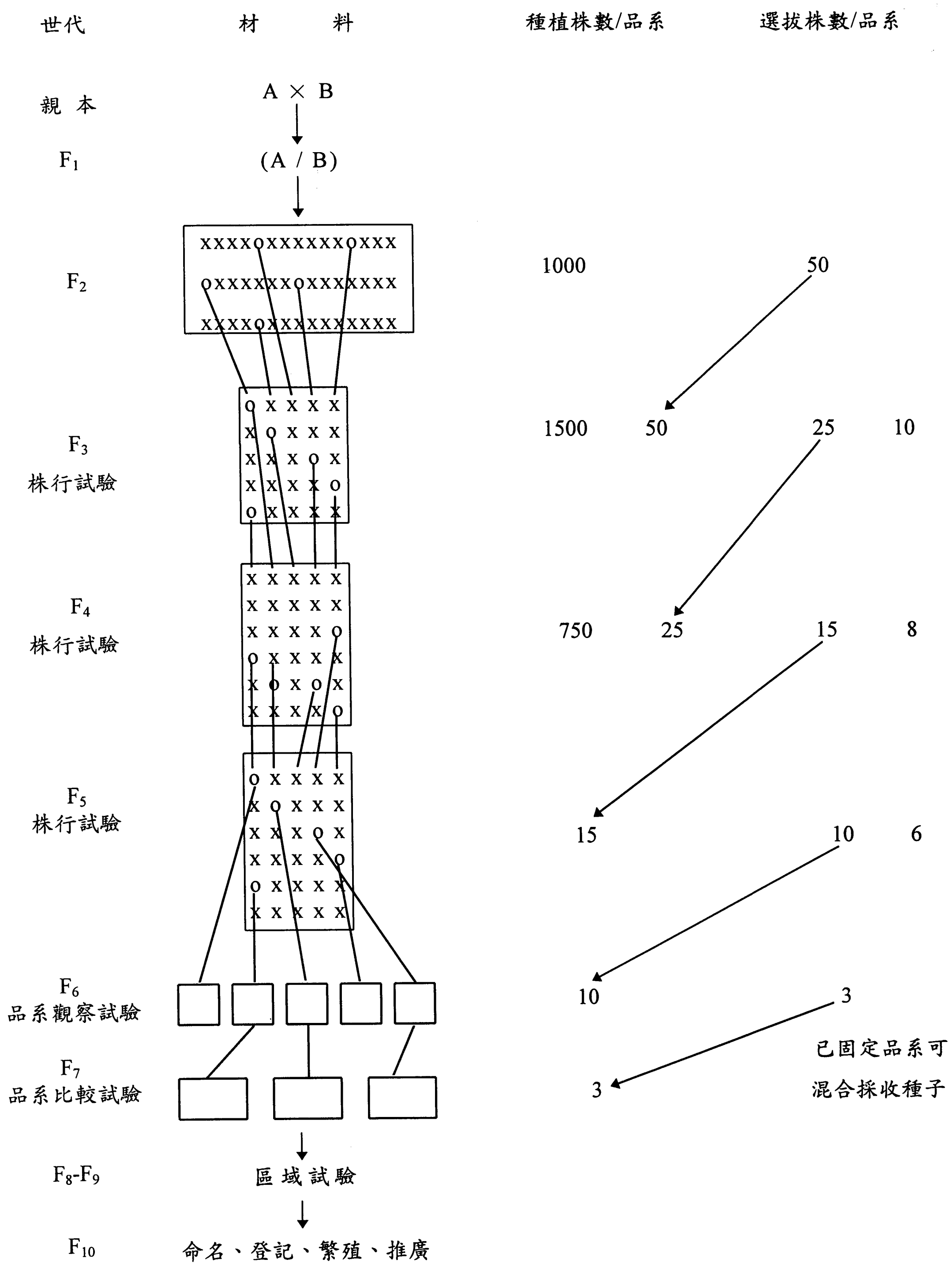


圖 8. 自花授粉作物之系譜法選拔程序

d. F_6世代的培育及選拔：自 F_5世代選拔的 10 個品系，各種植一畦 24 株，觀察比較各品系的優劣。果實成熟時，選拔具有優良園藝性狀之已固定品系，在各品系內，各自單株上採收成熟果實，混合採取種子，成為新品系，以供品系比較試驗用。倘若未固定之品系內，仍有特殊優良單株，可以再行單株選拔，種植下一代，觀察品系純化與否，若純化則可混合採收種子，供品系比較試驗之材料。

B. 改良式混合法：（參閱圖 9.）

a. F_1與 F_2世代的培育：將雜交組合第一代種子，種植 20 株，於生育、開花期、成熟期時鑑定確實為雜交種後，採收自交果實，得到 F_2種子，每組合的 F_2世代種植 600 株，若是導入番茄嵌紋病毒病、根瘤線虫或萎凋病之抗病性時，則需要在苗期先行各抗病性的篩選，所得抗病株種植於田間，成熟時選拔具有優良性狀的單株 40-50 株，並自各單株上平均採收 2 個果實，混合採收種子，得到 F_3世代。

b. F_3與 F_4世代的培育：F_3世代，每組合種植 600 株，同樣在苗期，行抗病性篩選，僅留下抗病株於田間，成熟時選拔優良植株 40 株，自各單株上平均採收 2 個果實，混合採收種子，得到 F_4世代，F_4世代執行步驟如同 F_3世代。

c. F_5世代的培育及選拔：F_5世代之混合種子，種植 300 株，如同 F_3世代，在苗期先行各抗病性的篩選，抗病株於田間種植，待果實成熟時，選拔 30 株優良單株，分別編號、調查、記錄成為品系。

d. F_6世代的培育及選拔：F_6世代之 30 個品系，每品系種植 48 株，再次鑑定番茄嵌紋病毒病、根瘤線虫或萎凋病之抗病性，選拔具有抗病純質結合的品系種植 24 株於田間，行株行試驗，選拔已固定的品系，在這些品系內，自各單株上採收成熟果實，混合採種子，成為新品系，供品系比較試驗之用，並加入地方栽培品種為對照。

C. 單籽後裔法（參閱圖 10.）

a. F_1-F_5世代的培育：種植 10 株，雜交第一代植株，確定為雜交種後，天然自交繁殖 F_2世代種子，每組合種植 1000 株於 3 寸塑膠盆，並依序編號，成為系統，待開花結果時，每株僅保留 2-3 果，該花序部位的上方留三片葉片後，強勢摘去頂芽，促進早熟，成熟時每一系統採收 1 個果實，擠出種子，直接播種於 3 寸塑膠盆內，如此代代繁殖 不做任何選拔，直到取得 F_6世代種子為止。

b. F_6世代以後的培育及選拔（採用系譜法）：F_6世代起每品系種植 24 株，於苗期篩選青枯病，抗病品系於夏作種植 24 株行耐熱性篩

選，選拔優良純化具耐熱性的品系後，再行品系內優良單株選拔，每品系選 1-2 單株得 F_7 世代品系，行株行試驗與地方品種，觀察比較品系間的優劣，選拔已固定之優良品系。在各品系內，自各單株上採收成熟果實，混合採取種子，成為新品系，參加品系比較試驗。

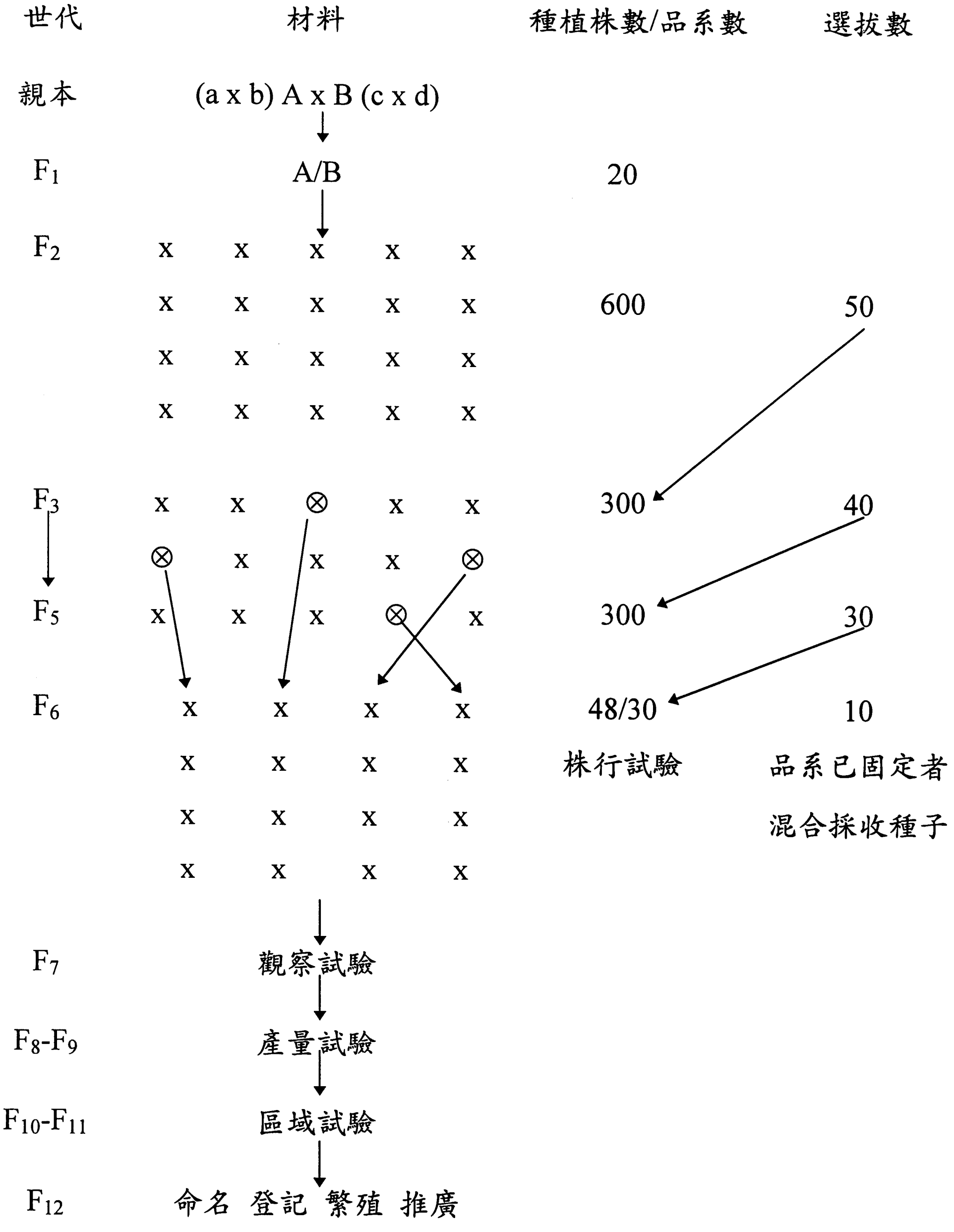


圖 9. 改良式混合法選拔程序

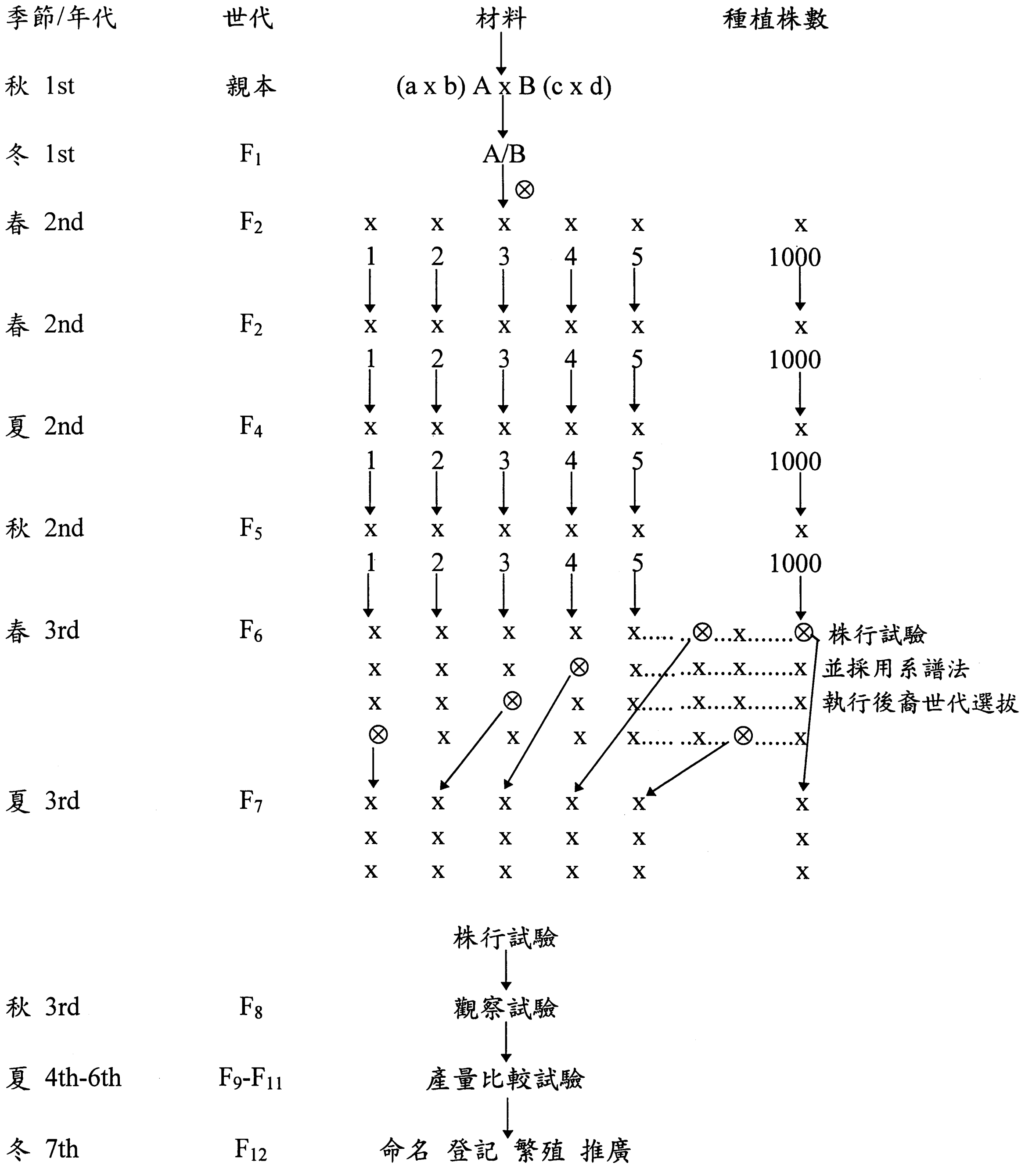


圖 10. 典型單籽後裔法選拔程序

D. 改良式單籽後裔法（參閱圖 11.）

a. 雜交 DC_1 或 BC_1 F_1 的培育：自雙雜交或限制回交所得的 DC_1 或 BC_1 F_1，各種植 50 株，並在苗期分別執行番茄嵌紋病毒病、根瘤線虫或萎凋病等由單一顯性基因所控制的病害之抗病性篩選，淘汰感病株，僅種植抗病株於田間，自交繁殖 DC_2 或 BC_1 F_2 種子。

b. DC_2 或 BC_1F_2 的培育：種植 1200 株的 DC_2 或 BC_1 F_2 族群於 3 寸塑膠盆內，並依序編號，於播種時同時接種根瘤線虫的卵塊於植穴內，待苗長 1-2 片本葉時，再接種番茄嵌紋病毒病，待兩星期後行番茄嵌紋病毒病抗病性的判定約可得到 676 株左右，同時具有這兩種抗病性的個體（1200 株 x 9/16=676 株）。留意栽種，每株保留 2 個果實，待成熟時採收得 BC_1F_3 世代。

c. DC_3 或 BC_1F_3 世代的培育：自 DC_2 或 BC_1 F_2 各抗病植株上採收的果實，直接播於 3 寸塑膠盆內，同樣在苗期篩選番茄嵌紋病毒病、根瘤線虫或萎凋病的抗病性，期望得到 473 株，具有兩種病害抗病性的個體，[74 株（1x1/9）=$Tm\text{-}2^a/Tm\text{-}2^a$，Mi/Mi，115 株（3/4 x 2/9）= $Tm2^a/+$，Mi/Mi，115 株（3/4 x 2/9）= $Tm2^a/Tm\text{-}2^a$，Mi/+，169 株（9/16 x 4/9）= $Tm2^a/+$，Mi/+]，留意栽種，同樣每株保留 2 個果實，待成熟時採收 2 個果實，並洗種子得 BC_1F_4 世代種子。

d. DC_4 或 BC_1F_4 世代培育：將 473 個 DC_4 或 BC_1F_4 世代品系，各播種 12 株，於苗長出 2 本葉時先接種番茄嵌紋病毒病，2 星期後調查各品系之抗感反應，若全部 12 株健康無病徵，表示具 $Tm\text{-}2^a$ 基因純結合性，保留這些純質個體，並自每株上摘取一片新葉，用澱粉膠体電泳法來檢定 $Aps\text{-}1^{1/1}$（與 Mi 基因連鎖）之純質結合個體後，移植於 5 寸素燒盆內，待開花結果時每株保留 5 個果實，成熟時行系譜法選拔，單株採種成為品系。

e. DC_5 或 BC_1F_5 世代培育：各品系分別種植 24 株於夏作（5-8 月份）溫室內執行青枯病抗病性苗期篩選，抗病性達存活率百分之七十五者，再播種一批，同樣每品系 24 株在田間行耐熱性株行試驗，並行品系間選拔優良單株，編號，調查記錄其園藝特性，採收自交種子成為新品系，供品系比較試驗之材料。

f. DC_6 或 BC_1F_6 世代培育：每品系種植一畦 24 株，一重複，行株距 60 x 40 公分，與地方栽培品種進行品系比較試驗，成熟時選拔已固定的優良品系，並混合採收該品系種子，供初級產量比較試驗材料，倘若未固定品系內仍有特殊優良單株，可以再行單株選拔編號，待次代再做一次觀察比較試驗，若該品系已固定且優良，則同樣可以混合採收種子，供初級產量比較試驗之材料。

g. DC_7 或 BC_1F_7 世代以及後世代之產量試驗：由 DC_7 或 BC_1F_7 世代選出之優良品系與地方栽培品種，參與初級產量比較試驗，每一品系二畦，二重複，田間將採用逢機完全區集設計，試驗結果選出之優良品系參與高級產量比較試驗，繼續執行二期或二年的試驗，優良之品種參與區域試驗，選最優良豐產品系，參與地方試作並向省農林聽廳（或農委會）提出申請命名、登記、繁殖種子推廣之。

2.回交育種法

(1) 親本選擇雜交與回交：

選擇優良品種或地方品種，但缺少某一種病害的抗病性者為母本及輪迴親本，與具有某一種病害抗病性（顯性 1-3 基因）之品種者為父本雜交之，雜交後代處理採用限制回交法，若具抗病性為野生種時，則採用全回交法，除外還要針對所具有抗病性是顯性或隱性基因控制，所執行步驟有所不同，一般回交法，均以雜交種（F_1）或回交 F_1 為父本，輪迴親本為母本，其原因是考慮雜交種之雌蕊親和性差及種子數目少以及細胞質遺傳之性狀。

(2) 後裔分離及選拔：

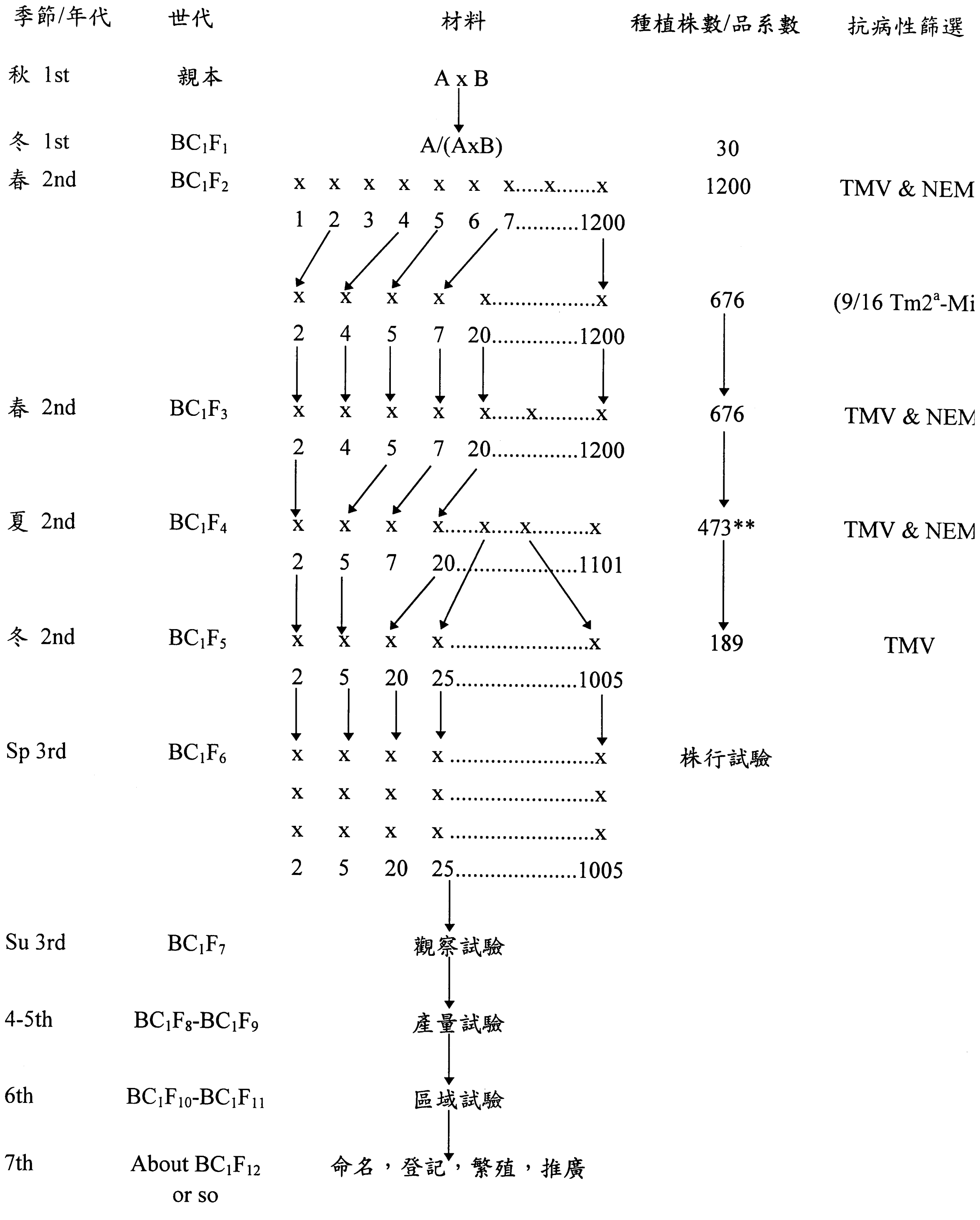
A. 限制回交法（參閱圖 12.欲轉移的抗病性為完全顯性基因之情況）

a. 雜交 F_1 和回交 BC_1F_1 世代的培育：優良栽培品種與具備抗病性的品種雜交得到雜交種（ F_1 ），種植該 F_1 世代 10 株於田間，開花時自每一株上採收等量的花朵，採集花粉為父本，授與輪迴親本（優良栽培品種）上得到回交 BC_1F_1 世代種子。

b. BC_1F_1 世代的培育：回交所得之 BC_1F_1 種子，種植 30 株，依據所欲轉移抗病性（番茄嵌紋病毒病、根瘤線虫或萎凋病），在苗期進行抗病性篩選，去除感病株，僅留抗病株，令其自然自花授粉繁殖 BC_1F_2 世代種子。

c. BC_1F_2 至 BC_1F_5 世代的培育：採用改良式單籽後裔法， BC_1F_2 世代開始種植 1200 株，並在苗期進行抗病性篩選，淘汰感病株，抗病株採用單籽後裔法繁殖，促進世代直到 BC_1F_5 世代為止。

d. BC_1F_6 世代的培育及選拔：所得到的 BC_1F_5 世代品系，每品系種植 24 株，再次檢定抗病性，淘汰感病及仍在分離的品系，僅留純質結合的抗病品系，定植於田間，並行品系間的比較觀察，若是耐熱性組合，則於夏季進行耐熱性篩選，若具有抗青枯病之抗病性，同樣在苗期先行篩選，淘汰感病品系，僅留抗病品系行耐熱性篩選，在耐熱性選拔時，著重品系間結果率之優劣，以及優良園藝性狀，如無裂果、著色均勻、果實大小均一等等。所選得的優良固定品系成為新品系 可供參加品系比較試驗的材料。



*NEM=根瘤線蟲; TMV=番茄嵌紋毒素病

**74 (1 x 1/9) $Tm2^a/Tm2^a$, Mi/Mi; 115 (3/4 x 1/9) $Tm2^a/+$, Mi/Mi; 115 (3/4 x 2/9) $Tm\text{-}2^a/Tm\text{-}2^a$, Mi/+; 169 (9/16 x 4/9) Tm-2a/+Mi/+

圖 11. 改良式單籽後裔法選拔程序

世代	材料	種植株數/品系數	抗病性篩選
親本	A x B		A = 具抗TMV B = 具抗NEM
F_1	A/B		
BC_1F_1	A x (A/B)	30	NEM
BC_1F_2	系譜法　改良式單籽後裔法　改良混合法	1200	TMV & NEM*
BC_1F_5			
BC_1F_6	株行試驗	30/品系	
BC_1F_7	觀察試驗	12/品系	
BC_1F_8 － BC_1F_9	產量試驗		
BC_1F_{10} － BC_1F_{11}	區域試驗		
BC_1F_{12}	命名、登記、繁殖、推廣		

* NEM = 根瘤線蟲
TMV = 番茄嵌紋毒素病

圖 12.　限制回交法選拔程序（欲轉移的抗病性為完全顯性基因之情況）

B. 全回交法

a.欲轉移野生種所具備的顯性抗病基因（參閱圖 13.）

(a.)雜交 F_1 及回交 BC_1F_1 世代的培育：選擇優良栽培品種為輪迴親本，具有顯性抗病基因的野生種為父本，雜交得到 F_1，種植 10 株當父本與輪迴親本回交，得 BC_1F_1 種子（如果野生種是 *L. chilense* 時 F_1 和 BC_1F_1，必須於授粉結果後 15 天左右，採未熟種子，執行胚的組織培養，以獲得 F_1 植株，F_1 植株開花時再與輪迴親本回交得 BC_1F_1，同樣必須再胚培養得 BC_1F_1 成株，之後採取 BC_1F_1 之花粉再與輪迴親本回交得 BC_2F_1 世代。

(b.)BC_2F_1 至 BC_5F_1 世代的培育：所得 BC_2F_1 世代的種子種植 30 株，行苗期抗病性檢定，去除感病株，種植抗病植株，混合收集各抗病株的花粉，再授於輪迴親本，得 BC_3F_1，同樣種植 30 株，

行苗期篩選，保留抗病株為父本，再與輪迴親本回交得 BC_4F_1，依此類推直到 BC_4F_1 世代為止。

(c.)BC_5F_2 世代的培育選拔：種植 30 株 BC_5F_1 世代，行抗病性篩選，抗病株，令其自然授粉，繁殖 BC_5F_2 世代的種子，再種植該世代 500 株，並行抗病性檢定，僅種植抗病株於田間，成熟時選拔與輪迴親本近似的優良單株，編號、調查、記錄成為系統。

(d.)BC_5F_3 至 BC_5F_5 世代的培育選拔： BC_5F_3 世代各系統種植 40 株，並行苗期抗病性檢定，淘汰感病和仍在分離的系統。定植純質結合的抗病系統於田間，觀察比較系統之優劣，成熟時選拔優良已固定及其園藝特性與輪迴親本相似的系統，採種時在系統內自各單株上採收成熟果實，混合種子得 BC_5F_4 世代，成為新品系，參加株行試驗。如果各系統的分離性狀仍很普遍，則可在 BC_5F_3 系統間選優良系統，再於系統內選優良 1-2 個單株，次代種植再觀察品系固定或仍分離，已固定者可以混合採種。 BC_5F_4 世代各品系，種植 24 株行株行試驗，並做品系間比較選拔，所選拔近似輪迴親本的品系，採收種子得 BC_5F_5 世代，供參加品系比較試驗。

b.欲轉移野生種所具備的隱性抗病基因（參閱圖 14.）

(a.)雜交 F_1 及 F_2 世代的培育：選擇優良的地方栽培品種為輪迴親本，具有隱性抗病基因的野生種為父本，雜交得到 F_1 雜交種，種植 10 株，令其自然授粉採收成熟果實，得到 F_2 種子，種植 30-50 株，並在苗期行抗病性篩選，淘汰感病株，抗病株種植於田間或 8 寸盆，便於採集花粉當父本，再與輪迴親本回交得 BC_1F_1。

(b.)BC_1F_1 至 BC_1F_2 世代的培育：種植 10 株 BC_1F_1 個體，令其自然授粉，平均等量自 BC_1F_1 單株上採收成熟果實，混合得到 BC_1F_2 種子，種植 30-50 株 BC_1F_2 世代，並行苗期抗病性篩選，淘汰感病株，僅種植抗病株，以採收花粉，再與輪迴親本回交得 BC_2F_1 世代，依此類推來執行全回交的步驟，直到 BC_5F_1 世代為止。

(c.)BC_5F_2-BC_5F_7 世代的培育選拔：種植 10 株 BC_5F_1 自交繁殖 BC_5F_2 世代種子，種植 30-50 株，行苗期抗病性篩選，淘汰感病株，種植抗病株於田間，自交繁殖，各抗病株於成熟時分別編號，單株採種得到 BC_5F_3 系統， BC_5F_3 系統各種植 24 株，並行系統間抗病性篩選檢定，淘汰仍分離之品系，種植純質結合的品系於田間行採種試驗，並與輪迴親本比較，選拔園藝性狀與輪迴親本相似之品系，成為新品系，供品系比較試驗之材料。

世代	材料	種植株數	備註
親本	A x B ↓ $(t_1t_1t_2t_2)$ $(T_1T_1T_2T_2)$	5	A＝具HT，ToM，NEM，BW等 特性 當輪迴親 B＝ 野生種，具TLCV抗病性
F_1	A/B $(T_1t_1T_2t_2)$	授精結果20天後 行胚培養50株	移植三寸盆 待開花時授粉， 做回交
BC_1F_1	(A x A/B) $(t_1t_1t_2t_2)$ $(T_1t_1T_2t_2)$ 1/4 $T_1t_1T_2t_2$ 1/4 $T_1t_1t_2t_2$ 1/4 $t_1t_1T_2t_2$ 1/4 $t_1t_1t_2t_2$	1. 授精結果20天後 行胚培養50株 2. 選抗病株採粉 混合之當BC_2F_1 之父本，再與輪 迴親回交	a. 移植三寸盆後 三星期 置病圃由菸草粉蝨傳毒 b. 傳毒接種後繼序觀察 感表現至開花結果為止 c. 採抗病株行核酸雜合測試
BC_2F_1 (1:1:1:1)	A x [A(x2)/B] $(t_1t_1t_2t_2)$ $(T_1t_1T_2t_2)$	72	a. 播於穴盤 b. 置病圃感染TLCV c. 選拔抗病株 並取樣 核酸雜合測試，確定其抗性， 採抗病株花粉再回交
BC_3F_1	A x [A(x3)/B]	72	同上
BC_4F_1	A x [A(x4)/B]	72	同上
BC_5F_1	A x [A(x5)/B]	72	同上
	BC_5F_2		每世代選拔抗病株園藝性狀類似 原輪迴親者再自交進代
	BC_5F_6		育成自交系行HT，ToMV， NFM， BW和TLCV的特性確定

圖 13. 全回交育種法選拔程序 I（欲轉移野生種所俱備的顯性抗病基因）

世代	材料	種植株數	雜交方法	備註
親本	A x B (RR) (rr)	10	單雜交	B(rr): 贈與品種具隱性抗病基因 A(RR): 輪迴親
F_1	A/B (Rr)	10		
	⊗		自交	
F_2	1RR:2Rr:1rr	30		抗病性篩選淘汰感病株
	淘汰 x A(RR)		回交	
BC_1F_1	Rr	10		
	⊗		自交	
BC_1F_2	1RR:2Rr:1rr	30		抗病性篩選淘汰感病株
	淘汰 x A(RR)		回交	
BC_1F_2	Rr	10		
	: :		自交及回交	步驟同上
BC_5F_1	Rr	10		
	⊗		自交	
BC_5F_2	1RR:2Rr:1rr	30		抗病性篩選淘汰感病株
BC_5F_3	淘汰 ⊗		自交	
	x x x ⊗ ⊗ x ⊗ x x ⊗ x x			抗病株自交 成為品系 行系譜法選拔類似輪迴親的優良品系
BC_5F_4	x x x x			
:	x x x x			BC_5F_4 至BC_5F_7世代分別執行株行及品系比較試驗
:	x x x x			
BC_5F_7	x x x x			
BC_5F_8	區域試驗			
BC_5F_9-BC_5F_{10}	命名、登記、繁殖、推廣			

圖 14. 全回交育種法選拔程序 II（欲轉移野生種所俱備的隱性抗病基因）

3.品系試驗

經由選拔育種及雜交育種所育成的優良固定品系與現行栽培品種為對照，進行品系試驗，每品系種植一畦，畦長 4.8 公尺，株距 0.4 公尺，停心型一畦一行 12 株，行距 1.5 公尺，非停心型一畦二行 24 株，行距 0.6 公尺，同時於春、夏、秋各種一作，無重複，調查農藝及園藝特性項目，試驗結果所選得的優良品系，參加品種（系）比較試驗。

四、雜交品種

1.自交系育成

(1) 依照育種目標，收集具有可利用之優良特性的國內外品種，經觀察後選拔育種法純化的固定品系。

(2) 依照育種目標，採用一般雜交育種法和回交育種法，育成具多種優良園藝特性，或抗多種病害的優良品系。

(3) 依照育種目標之需求，收集國內外雜交一代品種，再以系譜法或單籽後裔法，選育之優良自交品系。

2.組合力檢定

選擇親緣不相近，合乎育種目標之優良自交品系，進行所有可能的雜交組合，將所得的各雜交一代組合，依序編號，同時加入各組合之父母本及當地現行栽培品種為對照，進行品系觀察試驗，以檢定一般組合力，經檢定結果，較栽培品種優良者，可參與品種（系）比較試驗。

五、品種（系）比較試驗

引種觀察、選拔育種、雜交育種或雜交一代品種等選拔所得優良品系，均可參加品種（系）比較試驗，試驗等級，分初級與高級兩種，並以現行栽培品種為對照，畦長 4.8 公尺，株距 0.4 公尺，行距停心型為 1.5 公尺，非停心型為行距 0.6 公尺，畦面寬為 0.9 公尺，包括畦溝為 1.5 公尺，每品系種植行數及株數各不相同，初級試驗二行 24 株，二重複，高級試驗四行 48 株，3-4 重複，田間設計，採用逢機完全區集，春、夏、秋各種一作，調查項目有農藝及園藝特性，選出較對照品種優良者，參加區域試驗。

六、區域試驗

選擇 3-4 處之栽培區，進行區域性試驗，栽培管理方法如同品種比較試驗內的高級試驗，重複數至少四次。試驗結果，較對照品種優良者，可參與地方試作。地方試作選擇 2-3 處主要產地，於春、夏、秋各種一作，大區栽培為 5-10 公畝，試驗結果，表現優於現行栽品種者，可申請命名及登記。

七、命名及登記

經區域試驗及地方試作結果，較對照品種優良之新品系，將其育種經過及區域試驗等資料送農林廳申請新品種登記、命名。

八、繁殖、推廣

經正式命名之新品種，經繁殖採種，推廣供農民栽培其繁殖方法如下：

1.固定品種種子生產：在隔離地區自然授粉採種，採種步驟分原原種及原種兩種。原原種之採種方法為在採種田，選生育旺盛，性狀一致 無病害之優良單株 30-40 株，混合採收其成熟果實，採取種子乾燥保存，供下一年繁殖用，其餘植株經去雜後，混合採收的種子為種原，供試驗機構大量繁殖，或交農民栽種。

2.雜交一代品種種子生產：將父母本分別隔離，父母本之比例為 1：4，父本應提早 10-14 天種植，雇用技術熟練工人 進行人工去雄、授粉，每株以授 50 朵花，收穫 40 個果，採收前應嚴格執行去雜工作（包括自交果及混雜植株）。

參 考 文 獻

王海廷，王鳴，和李長年 番茄育種 中國上海科學技術出版社 345pp

李伯年 1982 蔬菜育種與採種 茂昌圖書有限公司 405pp

李學勇 1959 園藝育種學 時代出版社 371pp 增訂再版 1981 台大植物系 425pp

陳正次 1991 番茄的生理障礙及防治 農藥世界 Vol. 95； p18-29

陳正次 1991 番茄育種程序及實施方法 蔬菜作物育種程序及實施方法 臺灣省農林廳 p68-81

陳正次 1991 番茄產業面面觀：亞蔬中心耐熱抗病番茄育種之經歷（下） 農藥世界 Vol. 134；p88-95

陳正次 1994 番茄產業面面觀：亞蔬中心耐熱抗病番茄育種之經歷（上） 農藥世界 Vol. 133； p17-21

陳正次 1995 番茄 臺灣農業要覽（二） 豐年社 p427-636

陳正次 1997 夏季耐熱、抗病、小果番茄新品種－台南亞蔬 6 號 種苗科技專訊 Vol.19 p11-15

湯文通 1967 作物育種之原理與實施 國立台灣大學農藝學系 作物育種研究室 753pp

盧守耕 1960 作物育種學 國立台灣大學 農學院叢書 第 10 號 420pp

齋藤隆 1976 番茄－基礎生理的應用技術 農山海村文化協會編 新野菜叢書 281pp

黃貴豪 接力育成小果番茄品種 豐年 Vol.47-1 p.6-8

劉依昌 耐熱、省工、品質佳的番茄新品種「台南亞蔬 6 號」 豐年 Vol.47-1 p.26-29.

劉依昌、陳正次 1997 小果番茄「台南亞蔬 6 號」之育成 台南區農業改良場 研究彙報 Vol.34 p.1-13.

Black，L.L.，王添成，Hanson，P.M.，和陳正次 1997 野生種番茄抗晚疫病之鑑以定及其抗病基因之導入栽培種番茄 海峽兩岸第三屆病理學術研討會

Abdul-Baki，A.A.，1991. Tolerance of tomato cultivars and selected germplasm to heat stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci.，116，1113-1116.

Acosta，J.C.，Gilbert，J.C.，and Quinon，V.L. 1964. Heritability of bacterial wilt resistance in tomato. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.，84，455-461.

Atherton，J.G. and Rudich J. 1986. The Tomato Crop. Chapman and Hall Ltd.，USA，647pp.

AVRDC. 1984. 1982 Prog. Rpt. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，shanhua，Taiwan.

—. 1987. 1985 Prog. Rpt. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，Shanhua，Taiwan.

—. 1988. 1986 Prog. Rpt. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，Shanhua，Taiwan.

—. 1992. 1991 Prog. Rpt. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，Shanhua，Taiwan.

—. 1993. 1992 Prog. Rpt. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，Shanhua，Taiwan.

—. 1994. 1993 Prog. Rpt. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，Shanhua，Taiwan.

—. 1995. 1994 Prog. Rpt. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，Shanhua，Taiwan.

—. 1996. 1995 Prog. Rpt. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，Shanhua，Taiwan.

Dane，F.，Hunter，A.G.，and Chambliss，O.L. 1991. Fruit set，pollen fertility，and combining ability of selected tomato genotypes under high-temperature field conditions. J. Amer. Soc. Hort. Sci.，116，906-910.

El Ahmadi，A.B.，and Stevens，M.A. 1979a. Reproductive responses of heat-tolerant tomatoes to high temperatures. J. Amer. Soc. Hort. Sci.，104，686-691.

El Ahmadi，A.B.，and Stevens，M.A. 1979b. Genetics of high temperature fruit set in the tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci.，104，691-696.

Emery，G.C.，and Munger，H.M. 1970. Effects of inherited differences in growth habit on fruit size and soluble solids in tomato. J. Amer. Soc. Hort.，95，410-412.

Hanna，H.Y.，and Hernandez，T.P. 1982. Response of six tomato genotypes under

summer and spring weather conditions in Louisiana. HortScience，17，758-759.

Hanna，H.Y.，Hernandez，T.P.，and Koonce，K.L. 1982. Combining ability for fruit set，flower drop，and underdeveloped ovaries in some heat-tolerant tomatoes. HortScience，17，760-761.

Hanson，P.M.，Wang，J.F.，Hartman，G.L.，Lin，Y.C.，and Chen，J.T. 1996. Variable Reaction of Tomato Lines to Bacterial Wilt Evaluated at Several Location in Southeast Asia，Hortscience 31(1) 143-146.

Hanson，P.M.，Licardo，O.，Hanudin，Wang，J.F.，and Chen，J.T. 1998. Diallel analysis of bacterial wilt resistance in tomato derived from different sources. Plant Dis. 82:74-78.

Kuo，C.G.，and Chen，B.W. 1980. Physiological responses of tomato cultivars to flooding. J.Amer. Soc. Hort. Sci.，105，751-755.

Kuo，C.G.，and Tsai，C.T. 1984. Alternation by high temperature of auxin and gibberellin concentrations in the floral buds，flowers，and young fruit of tomato. HortScience，19，870-872.

Kuo，C.G.，Chen，B.W.，Chou，M.H.，Tsai，C.C.，and Tsay，J.S. 1979. Tomato fruit set at high temperature. In: Cowell，R. (ed.) Proc. 1st Intl. symp. Tropical Tomato. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，Shanhua，Taiwan，94-108.

Kuo，C.G.，Tsay，J.S.，Chen，B.W.，and Lin，P.Y. 1982. Screening for flooding tolerance in the genus Lycopersicon. HortScience，17，76-78.

Kuo，C.G.，Chen，H.M.，Shen，B.J.，and Chen，H.C. 1989. Relationship between hormonal levels in pistils and tomato fruit-set in hot and cool seasons. In: Green，S.K. (ed.) Tomato and Pepper Production in the Tropics. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，Shanhua，Taiwan，138-149.

Opena，R.T. 1990. Genetic Improvement of tomato 園藝作物育種講習會專刊 台灣省農試所專刊 31，223-257

Opeña，R.T.，Kuo，C.G.，and Yoon，J.Y. 1987a. Breeding for stress tolerance under tropical conditions in tomato and heading Chinese cabbage. In: Chang，W.N.，MacGregor，P.W.，and Bay-Petersen，J. (ed.) Improved Vegetable Production in Asia. Food and Fertilizer Technol. Ctr.，Taipei，Taiwan，88-109.

Opeña，R.T.，Shanmugasundaram，S.，Yoon，J.Y.，and Fernandez，G.C.J. 1987a. Crop improvement program to promote vegetable production in the tropics. In: chang，W.N.，and Opena，R.T. (ed.) Breeding of Horticultural Crops. Food and Fertilizer Technol. Ctr.，Taipei，Taiwan，1-17.

Opeña，R.T.，shanmugasundaram，S.，Fernandez，G.C.J.，Yoon，J.Y.，Takagi，H.，Tschanz，A.T.，and Green，S.K. 1988. Vegetable germplasm

at AVRDC and its utilization in crop improvement with special reference to disease resistance breeding. In: Suzuki，S. (ed.) Crop Genetic Resources of East Asia. Intl. Board for Plant Genetic Resources，Tsukuba，Japan，143-154.

Opeña，R.T.，Green，S.K..，Talekar，N.S.，and Chen，J.T. 1990a. Genetic improvement of tomato adaptability to the tropics. In: Green，S.K. (ed.) Integrated Pest and Management Practices for tomato and Pepper in the Tropics. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，Shanhua，Taiwan，70-85.

Opeña，R.T.，Hartman，G.L.，Chen，J.T.，and Yang，C.H. 1990b. Breeding for bacterial wilt resistance in tropical tomato. In: 3rd Intl. Conf. Plant Proteciton in the Tropics. Genting Highlands，Malaysia，44-50.

Opeña，R.T.，Chen，J.T.，Kuo，C.G.，and Chen，H.M. 1992. Genetic and Phsiological Aspects of Tropical Adaptation in Tomato: In: Kuo，C.G. (ed.) Proc. Intl. symp. Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，Shanhua，Taiwan. 321-334.

Rick，C.M.，and Dempsey，W.H. 1969. Position of the stigma in relation to fruit setting of the tomato. Bot. Gaz.，130，180-186.

Stevens，M.A. 1979. Breeding tomatoes for processing. In: Cowell，R. (ed.) Proc. 1st Intl. Symp. Tropical Tomato. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，Shanhua，Taiwan. 201-213.

Stevens，M.A. 1986. Inheritance of tomato fruit quality components. Plant Breeding Rev.，4，274-311.

Villareal，R.L.，and Lai，S.H. 1978. Screening for heat tolerance in the genus Lycopersicon. Hortscience，13，479-481.

Villareal，R.L.，and Lai，S.H. 1979. Development of heat tolerant tomato varieties in the tropics. In: Cowell，. (ed.) Proc. 1st Intl. Symp. Tropical Tomato. Asian Vegetable Res. and Develop. Ctr.，Shanhua，Taiwan. 188-200.

Wessel-Beaver，L. 1992. Genetic variability of fruit set，fruit weight，and yield in a tomato population grown in two high-temperature environments. J. Amer. soc. Hort. Sci.，117，867-870.

茄子育種

陳農哲

亞洲蔬菜研究發展中心

前　言

茄子學名*Solanum melongena* L. 英名Eggplant，歐洲稱Aubergine，印度南亞又叫Brinjal，別名落蘇。茄子是很普遍的蔬菜之一，適應性高、產量高、供應時間長，是夏季主要蔬菜。亞洲地區是茄子主要產區，種植面積及產量均占世界90%以上，尤其是印度、孟加拉、巴基斯坦、中國、日本、菲律賓等為亞洲主要生產地。根據FAO生產年報(1997)全世界茄子的栽培面積為1,106,000公頃，總生產量有17,025,000公噸。台灣茄子的種植面積84年約有1300公頃，產量為25,049公噸，屏東、彰化為主要生產地區。茄子以煮食為主，但也可用作乾製或醃漬。

起源與分類

茄子起源亞洲東南熱帶地區，印度緬甸間，古印度為最早馴化地，至今印度仍有茄子的野生種與近緣種。早在4－5世紀就傳入中國，因此栽培已有1500年歷史，而相信中國是茄子第二起源地。13世紀傳入歐洲，17世紀才從歐洲傳到北美洲。不同形態、顏色、果形的茄子也發現在東南亞地區，可能也是茄子的主要變異中心。

茄子屬茄科(Solanaceae or Nightshade family)，茄屬(Solanum)在植物分類上是一大屬，包含有1500種(Species)。茄子染色体數2N=24，植物學將其分為三個變種：1).圓茄(*Solanum melongena* var. *esculentum* Bailey)，植株高大、果實大、圓球、扁球或橢圓形球形，皮色紫、黑紫或綠白，多中晚熟種。2).長茄(*S. melongena* var. *serpentinum* Bailey)，植株生長勢中等，果實細長形，皮色有紫、綠、淡綠、白等，果皮薄、肉質柔嫩。3).矮茄(*S. melongena* var. *depressum* Bailey)，植株較矮、果實小、卵或長卵形、種子較多。

植物性狀

茄子為一年生植物，莖直立基部帶木質，在熱帶、亞熱帶露地可以越冬。直根系易木質化，發生不定根能力弱。株高60－120公分，紫、深紫或綠色。葉大為單葉互生，卵圓或長卵圓形，紫或綠色因品種而異。茄子很多品種的莖、葉、萼片生有刺，刺的多少因品種而不同。花大單生或簇生，簇生花有2－3朵至5－6朵，呈白色至紫色。果實為漿果，卵圓、圓至長圓形，皮色有黑紫、紫、紫紅、

綠或綠白。果肉為白色海棉狀組織，由薄壁細胞組成。種子近似腎形，扁平、黃色具光澤，千粒重4－5公克，每一果實含有種子500－1000粒。

花器構造與生殖生態

茄子的花為完全花，具有雄蕊與雌蕊，為自花授粉作物。花冠紫色或白色，花瓣和花萼各 5－6 枚，萼片基部合生筒狀。雄蕊有花藥 5－6 個，花藥二室著生於花冠筒內側，花藥頂端孔裂散開花粉。雌蕊一個，因花柱長度不同而有：1)長柱花，花柱柱頭高於花藥，有正常大的子房；2)中柱花，花柱柱頭低於花藥，中等長也有中等大的子房；3)短柱花，花柱很短有退化的子房。各種類的花所佔比率因品種不同而異，一般長柱花佔多數，約有 52－90% ；中柱花次之，約有 8.5－28% ；短柱花則佔比率較低 1.5－25% 。亞蔬中心調查 10 個茄子品種，在採收中期長柱花與短柱花數，長柱花係柱頭高於花藥或與花藥等長，而花柱低於柱頭則歸為短柱花，結果顯示品種間比率的差異很大，長柱花的百分比佔 30－95% ，而短柱花則佔 5－70% 。長柱花與中柱花可正常結果，其著果率在 70－86% 間，但短柱花則不會結成果實。同品種植株所開的各類花比率，亦受植株生長時期與生育狀況的影響。

茄子的花芽分化和番茄相似，植株主莖具3－4片葉時開始分化花芽，影響花芽分化的因素很多，早熟品種第一花的著生節位較早，晚熟品種較遲，環境條件、施肥量等也會影響花芽分化的遲早。有一定的日夜溫差，較強的光照、營養充足、植株生長旺盛、葉片開展大，是促進花芽分化的條件。茄子的開花結果習性相當有規則，一般早熟品種在主莖生長6－8片葉後，即著生第一朵花或花序，中熟或晚熟品種要生長8－9片葉以後，才著生第一朵花。主莖或側枝上著生2－3片葉後，又分別開花。

茄子一般為自花授粉，花藥裂開時期與柱頭的授粉期相同，時間約在每天早晨6－11點期間，但仍受光照、溫度、濕度等影響，必須根據各地實際觀察來判斷。茄子雖然是自花授粉，但長柱花的柱頭暴露於花藥上面，容易雜交。自然雜交率與品種、地區、株距及昆蟲活動情況有關，根據調查報告，印度有些品種高達20－60% ，意大利10－29% ，中國3－7% ，而亞蔬中心的田間調查則有0－8.2% (平均2.7%)的自然雜交率。

茄子果實發育過程中，果肉先發育，種子後發育。到果實發育的後期，種子才迅速生長成熟。早熟品種從開花到生物學上成熟要50－60天，晚熟品種則要長些。留種用的果實，在採收後放置幾天，使充分成熟，能提高種子的品質。

授粉技術

茄子的花大，除雄授粉一般都用手操作。茄子是自花授粉作物，自交時只要利用套袋或隔離控制授粉即可，若在田間自交授粉，可選單花加以套袋，或用細

目網套住全植株，以防媒介昆虫授粉，但必須在套網前，將植株所有已開的花及已結的果實摘除。果實成熟時選擇發育正常的果實採收種子即為自交的種子。在溫室自交時，花可加以套袋或不必套袋(植株間隔不要太近)，又根據經驗，輔以人工自花授粉，可增加單果的種子量。

雜交授粉母本必須先去雄，選擇開花前1－2天的花蕾，或花蕾的花瓣白色尚未變成紫色的花蕾，小心去除雄蕊，再加以套袋，並於開花當天上午授粉。去雄的花蕾太小，比較會傷害到花柱和子房；而花蕾太大，其花瓣已變成紫色時，自花授粉的機會高。去雄時以尖細的鑷子撥開花蕾上端，並小心除去所有花藥只留下花瓣、子房與花柱。父本的花粉於當天採收後，即授於去雄花的柱頭上，完成雜交授粉的工作。茄子的花粉，在溫度20－22℃相對濕度50－55% 下，貯藏8－10天的花粉仍有活力，但是除非有需要，如父母本的開花期沒有事先安排妥當，還是以當天開的新鮮花粉授粉最好。

茄子野生種與種間親和性

茄子，*Solanum melongena* L.在形態性狀(如果形、果色、生長習性、生長勢、長刺等)，生理屬性(如早開花、吸收與蒸發力等)，及生化特質(如果實苦味等)上，已具有很大的變異。惟在抗病性方面，雖然有些品系對特定病害如青枯病與炭疽病有高抵抗性外，對於其他的病害不是不抗，就是只具有低程度的抗性。在虫害方面更是很少有抗性，頂多是耐性(tolerance)而已。茄屬(Solanum)是一大屬，有1500種(Species)之多，其中一些與茄子相關的近緣種，根據研究具有高度抗病性或抗虫性，特舉例列於表1。在栽培種 *S. melongena* 缺乏抗病抗虫性來源時，可利用種間雜交，改良茄子的抗病虫性。

形態特徵，可雜交性與血清研究，是建立種間關係的三個主要依據。按形態的相似性與雜交親和性，茄子複合種(eggplant camplex)包括有*S. melongena*、*S. incanum*、*S. insanum*，這些種間的雜交親和性較高，亦可獲得可稔性種間雜種。*S. incanum* 是茄子最近緣的種，但兩者間的雜交有時只有前者做母本才能成功，兩者間的雜種，則有75% 染色花粉粒。與茄子複合種關係比較接近的其他種則有 *S. aethiopicum* (scarlet eggplant)、*S. anguivi*、*S. tomentosum*。

栽培種茄子與近緣野生種間雜交親合性並沒有一定規則，其鑑定與研究常遇二大困難：1)不同品系的茄子與野生種的雜交親和性不同，形態相似的品系不一定雜交親合性高；2)種間雜交成功與否，有許多現象，如落花、單為結果(無種子)、皺縮種子或種子不發芽、不同程度的不稔性或可稔性的雜種等，因此很難判斷茄子與野生種的親緣性。

種間雜交所用的技術顯然影響雜交的成功或失敗，例如胚培養可克服因胚與胚乳不親和的阻礙，這技術已利用而取得*S. melongena* x *S. torum*, *S. melongena* x *S. viarum*, *S. melongena* x *S. sisymbriifolium* 等種間雜交種。又一些種間雜交種子不發芽的，利用胚培養技術也可能獲得種間雜交的植株。

茄子種間雜種的部份不稔性，可能與自交不親合性有關，採用混合花粉(即花粉採自栽培種親本與種間雜種混合)雜交多株種間雜種，曾在番茄上獲得克服不稔性的困難，這技術也可以應用在茄子。另外結合傳統與新的技術，可幫助克服困難取得可稔性的種間雜種後代。例如改變其染色体倍數，用秋水仙鹼(colchicine)處理 *S. melongena* x *S. torvum* 的雜種取得複二元体(amphidiploid, 4x)，並利用回交 *S. melongena*與組織培養雄核發育(androgenosis) 可取得雙單倍体(dihaploid, 2x)。有些体細胞種間雜種是利用原生質融合(protoplast fusion)取得的，如 *S. melongena* 和 *S. torvum*, *S. sisymbriifolium, S. viarum* 。

茄子種間雜交中最有興趣的是*S. sisymbriifolium* 和*S. torvum*，兩種，這兩種具有三種或以上茄子重要病害的抗病性行為(青枯病、*Verticillium* wilt和線虫)，很可惜直到目前還沒有這兩種與茄子栽培種的種間雜交種可稔性的後代。種間雜交種 *S. melongena* x *S. aethiopicum* 在日本已經用做商業砧木品種供茄子生產。法國Ano, G.等(1991)利用抗青枯病的*S. aethiopicum*品系與栽培品種雜交，並用胚培養、回交法與輪迴選拔等技術，成功地獲得青枯病抗病性強而有很大變異的其他性狀的後裔。這些後代有些形狀與顏色滿意的，將直接推廣於法屬西印度Guadeloupe和Martinique青枯病為害地區栽培。其他抗病性最強的品系，則可在茄子育種計畫上利用做青枯病抗病性來源。

茄子相關野生種提供遺傳變異、抗病虫性、抗鹽性、抗旱性等來源，研究其間的親緣關係和雜交親和性，在茄子育種上有其重要性。惟野生種的一些性狀如植株形態、全株有刺、果實太小、果實品質不適食用甚至有毒等不良性狀，在種間雜交種後代很難去除，因此除非栽培種茄子中不能找到所需性狀的來源，茄子育種家應不要輕易利用野生種在育種計劃上，或必須考慮利用生物技術如基因轉殖，來克服上述的缺點，減少育種的時間。

重要遺傳性狀

茄子重要性狀的遺傳模式，有許多發表的研究報告，有關質量性狀與數量性狀的遺傳，分別列於表2，3，性狀的遺傳基因效能則列於表4。某些性狀的遺傳行為，因研究者不同，其研究結果有異。重要性狀的遺傳行為模式的瞭解，有助於育種選拔程序的選擇，提高育種效率。

表1. 茄子野生種的抗病與抗虫性

Table 1. Disease and insect resistance in related wild species of eggplant

Species	Resistant to
S. mammosum	*Fusarium* wilt, Fruit and shoot borer, Epilachna beetle, Cotton aphids, Red spider mite
S. viarum (=S.khasianum)	Fruit and shoot borer, Epilachna beetle, Little leaf, *Phomopsis* blight
S. sisymbriifolium	Nematodes, *Verticillium* wilt, *Phompopsis* blight, fruit and shoot borer, Red spider mite
S. sessiliflorum	Bacterial wilt
S. stramonifolium	Bacterial wilt
S. incanum	Bacterial wilt, Fruit and shoot borer, P*homopsis* blight
S. macrocarpon	White fly, Red spider mite
S. aethiopicum	
Aculeatum group *(S. integrifolium)*	Bacterial wilt, *Fusorium* wilt, Fruit and shoot borer, Little leaf
Gilo group *(S. gilo)*	*Phomopsis* blight, Bacterial wilt
S. indicum	*Phomopsis* blight
S. toruum	Bacterial wilt, Nematodes, *Verticillium* wilt, Epilachna beetle

表 2. 茄子質量性狀遺傳*

Table 2. Inheritance of qualitative charactersCharacters

Gene	dominance	References
Fruit color	Purple > green	Tatebe 1944; Khan and Ramzan 1954
	Green > white	Swamy Rao 1970; Choudhuri 1972,1977; More and Patil 1982; Gopinath et al. 1986; Joshi 1989
	Monogenic	Nolla 1932; Jannaki and Ammal 1933; Swamy Rao 1970; More and Patil 1982; Patil and More 1983
	Two genes in complementation	Thakur et al. 1969
	Complex	Fukusawa 1964; Gopinath et al. 1986
	Interaction of three non-allelic genes	Khapre et al. 1988
Plant color	Purple > green	Thakur et al. 1969; Sharif and Habib 1977; Mmbalkar and More 1980; Patid and More 1983
Stem color	Purple > green	Wanjarl and Khapre 1977, Patill and More 1983
	Duplicate gene	More and Patil 1982; Nimbalkar and More 1980
Hypocotyl/ seedling color	Purple > green	Wanjari and Khapre 1977
	Monogenic	Khapare et al. 1986
	Duplicate gene	Rangaswamy and Kadamb Bavana Sundram 1973
Corolla color	Purple > white or light purple	Wanjari and Khapre 1977
	Monogenic	Rangaswamy and Kadamb Bavana Sundram 1973
	Interaction of three or more non-allellic genes	Khapre et al. 1986
Leaf color	Monogenic two complementary genes	Sharif and Habib 1977; Patil and More 1983
Leaf vein color	Purple > green three or more genes	Khapre et al. 1986; Patil and More1983
Fruit flesh color	Green flesh > white	Wanjari and Khapre 1977
	Monogenic	Khapre et al. 1986
Fruit shape	Elongated > round	Swamy Rao 1970
	Round > oval	Choudhuri 1977
	three genes control	Patil and More 1983
	four genes control	Nimbalkar and More 1980
Bearing habit	Cluster > single	Swamy Rao 1970
	Single gene	Rangaswamy and Kadamb Bavana Sundram 1973
	Trigenic	Fukusawa 1964
Plant spread	Erect > spreading	Vijay Gopal and Sathumadhavan 1973
	Two complementary genes	Wanjari and khapre 1981; Khapre et al. 1985
Plant height	Tall > dwarf monogenic	Choudhuri 1972,1977
Prickle presence on petiole/ leaf/stem	Prickle presence absence monogenic	Rangaswamy and Kadamb Bavana Sundarm l973
Male sterility	Two recessive nuclear genes, ms_1 and ms_2	Chauhan 1984
Style erectness erect monogenic	Incurved style	Rangaswamy and Kadamb Bavana Sundram 1973

*文獻出處太多，未能在參考文獻詳細列出。

表 3. 茄子數量性狀遺傳*

Table 3. Inheritance of quantitative characters.

Characters	Heritability	Genetics advance	References
Yield	High	High	Desai RDhesi et al. 1964; Singh et al. 1974
	Low	—	Sidhu et al. 1980; Borikar et al. 1981; Dixit et al. 1984; Naulsri et al. 1986a
	Low	Low	Chadha and Sidhu 1983
Number of fruits per plant	High	—	Hiremath and Rao 1974; Dharmegowa et al.1979; Sidhu et al.1980
	Low	Low	Chadha and Sidhu 1983
Fruit weight	High	—	Hiromath and Rao 1974; Mital et al. 1976; Sidhu et al.1980 Dixit et al. 1984
	Low	Low	Chadha and Sidhu 1983
	Low	—	Singh et al. 1974
Seed weight per fruit	High	—	Hiremath and Rao 1974
Rind thickness	High	—	Hiremath and Rao 1974
Fruit girth	High	—	Sidhu et al. 1980
Plant height	High	—	Sidhu et al. 1980
	High	High	Chadha and Sidhu 1983
Number of days to first harvest	High	—	Mital et al. 1976;
	High	Hoght	Chadha and Sidhu 1983
Insect incidence	Low	Low	Chadha and Sidhu 1983

*文獻出處太多，未能在參考文獻詳細列出。

表 4. 茄子不同特性遺傳基因效果*

Table 4. Gene effects of various attributes

Characters	Gene effects	References
Number of days to flowering	Additive	Mital et al. 1976; Bajpai 1977; Gill et al. 1976
	Nonadditive	Singh et al. 1979; Singh and Mital 1988
	Overdomtnance	Peter and Singh 1973,1976; Hani et al. 1977
	Dominant	Sidhu et al. 1980
Fruit weight	Additive	Singh et al. 1982; Dixit et al. 1984; Mital et al. 1976 Peter and Singh 1973,1976; Salehuzzaman and Alam 1983; Randhawa 1987
	Both additive dominance	Dharmagowda 1977
Number of fruits per plant	Additive	Gilletal. 1976; Singh et al. 1979;Salehuzzaman and Alam 1983; Randhawa 1987; Singh and Mital 1988; Chadha and Sharma 1989
	Both additive & nonadditive	Dixit et al. 1984
Early yield	Additive	Kumar and Ram 1987
Yield	Additive	Gill et al. 1976; Sharma 1985; Gill et al. 1976; Madalageri 1986; Randhawa 1987; Naulsri et al. 1986 Kumar and Ram 1987; Chadha and Sharma 1989
	Additive and nonadditive	Borikar et al. 1981; Dixil et al. 1984; Dharmagowda 1977; Hani et al 1977; Singh et al. 1979; Singh and Mital 1988
	Dominance	Mital et al- 1976; Sidhu et al. 1980; Salehuzzaman and Alam 1983
	Overdominance	Singh et al. 1982
Fruit length	Additive	Peter and Singh 1973, 1976; Singh et al. 1979; Sidhu et. al. 1980; Dixit et al. 1984; Singh and Mital 1988
Fruit width	Additive and nonadditive	Singh and Mital 1988
Fruit size index	Additive	Gill et al. 1976
Fruit circumference	Additive	Dixit et al. 1984
Plant height	Additive	Gill et al. 1976; Bajpai 1977; Singh et al. 1979; Borikar et al. 1981.
	Both additive/ nonadditive	Singh and Mital, 1988; Dharmagowda, 1977; Dixit et al. 1984
Number of flowers	Dominant	Sidhu et al. 1980
	Additive	Peter and Singh 1973,1976
Seed per fruit	Overdominance	Dharmagowda 1977
Number of branches	Additive	Gill et al. 1976; Borikar et al. 1981
	Dominance	Bajpai 1977; Singh and Mital 1988.
Plant spread	Dominance	Bajpai 1977

*文獻出處太多，未能在參考文獻詳細列出。

種原收集與利用

茄子種原收集，以亞洲蔬菜研究發展中心最多，1996年年底總共收集的茄子種原有2253種(accessions)，包含有茄屬(*Solanum*)的42種(species)。收集含蓋美國農部收集的全部種原(692 accessions)，東南亞、印度等收集的種原等。部分的種原，已經繁殖並調查性狀。東南亞收集的種原，則與泰國Kasetsart University 合作，在泰國完成種子繁殖與性狀調查。台灣省農業試驗所國家種原庫收集的茄子種原共有114品種。

茄子植株果實的性狀品種間有很大的遺傳多樣性(genetic diversity)，即同一性狀的差異很大。根據亞蔬中心調查 517 種栽培種種原的重要園藝性狀，其差異範圍列於表 5。綜合五年的試驗結果，植株高度在 43-154 公分，每株分枝數 3.1－11.0，成熟日數為移植後 65－168，每株果數在 2－169(採收期二個月)，果重 9－466 公克，產量 1.5－83.7 公噸/公頃(二個月的採收期)。

表5. 茄子品種間園藝性狀之差異

Table 5. Genetic diversity of eggplant

試驗年份	供試品種數	株高(公分)	每株分枝數	成熟日數(日)	每株果數	果重(公克)	產量(公噸/公頃)
1992	105	78-138(109)[a]	5.1-10.4(7.1)	104-128(117)	6-80(24)	17-466(209)	7.7-72.3(44.9)
1993	82	89-154(118)	5.0-11.0(7.7)	73-129(92)	6-72(25)	15-317(118)	4.3-59.9(30.7)
1994	94	43-97(73)	4.1-10.5(7.6)	84-168(122)	2-105(20)	24-275(82)	1.5-47.5(18.1)
1995	121	65-147(113)	3.6-8.6(5.6)	81-113(96)	3-169(32)	9-336(144)	3.7-83.7(48.7)
1996	115	72-136(101)	3.1-8.2(6.5)	65-111(87)	6-46(26)	17-253(105)	7.5-56.0(32.9)

[a] 括弧內數字為平均值

育種目標

一個有效的作物育種計劃，必須要有定義清楚的策略來完成暨定的目標。下面是茄子育種的重要目標：

一、產量高穩定

產量是一遺傳的複合体，不但受遺傳多因子控制，亦常常受環境因子的影響。選拔高產量，要靠嚴密控制環境的影響，才能確保育種材料外型的表現相當於真遺傳潛力。對於產量組成份子的遺傳潛力與相互間關係，也要有適當的估定。茄子產量構成最重要的性狀是分枝數、果數與果重，其中尤以每株果數對產量有最大的直接影響。又茄子作物期長，採收期也長，因此產量的穩定性非常重要。

表6. 茄子重要病虫害抗病虫性之種原
table 6. Genetic resources for disease and insect resistance in eggplant

病害/虫害(Disease/insect)	抗病虫種原(Resistant sources)
青枯病	Terong Hijau, Glatik, Arka Keshav, Arka Shirish,
(*Ralstonia solanacearum*)	Arka Nidhi, WCGR128-8, BB49, Surya, BB44 等
褐斑病	Florida Market, Florida Beauty, 野生種等
(*Phomopsis vexans)*	
小葉病	Pusa Purple Cluster, Kartain, 野生種等
半身萎凋病	Black Beauty, Pusa Purple Long, K-2282
(*Verticillium* spp.)	CCR3, SM19/14, 野生種等
茄螟	PBR129-5, Arka Kusumakar, H-128, H-129
(*Leucinodes orbonalis)*	Thorn Pendy, 野生種等
二點小粒葉蟬	Aushey, R-34, H-4, T-3, 野生種
(*Amrasca biguttula biguttula*	
線虫	Black Beauty, T-2, Vijaya, MM456
(Meloidogyne spp.	MM353, Maroo Marvel, BR112

二、抗病性品種

茄子品種多數對主要病害沒有抵抗性，因此病害是茄子生產上產量與品質的限制因素，抗病性育種乃為茄子改良的主要目標。茄子重要病害有青枯病 *(Ralstonia solanacearum*)、褐斑病(*Phomopsis vexans)*、半身萎凋病*(Verticillium spp.*)、萎凋病*(Fusarium oxysporum*)、小葉病(Little leaf)、早疫病(*Alternaria spp.*)、圓星病(*Cercospora spp.*)、綿疫病(*Phytophthora melorgenae)*等，有些病害的防治方法缺乏或相當費成本不經濟，如土壤病害、病毒病等，因此寄主抗病性育種有其重要性與價值。

三、抗虫性品種

抗虫性育種不像抗病性育種受到重視，也較少有抗虫性商業栽培種育成，其原因：1. 殺虫藥劑可有效防治主要虫害，2. 高程度抗虫性的遺傳來源栽培品種中很難找到。茄子生產期甚長，田間虫害也很多，其中最重要的虫害是茄螟(Fruit and shoot borer, *Leucinodes orbonalis)*，特別是南亞地區為害相當嚴重，有造成60 % 損失的報告。其次是二點小粒葉蟬(Cotton leafhopper, *Amrasca biguttula biguttula)* 、蚜虫、紅蛛蛛等。抗虫性的遺傳來源在茄子栽培品種間較少，但野生種有很多且有抗虫性，不過利用野生種有困難，目前這個育種目標已朝基因轉殖方向發展中。減少農業藥劑的使用是現代作物生產要走的路，考慮環境、安全健康與永續農業，育成抗虫性品種也是茄子改良的目標。

四、改良品質

品質改良必須先瞭解構成品質的參數，而且品質的標準又因消費者而異，因此遺傳改良品質的目標有較多複雜性。果實大小、形狀、內部顏色、光滑度、整齊度、沒有缺陷等是茄子果實外表最有關的性狀。果實生物化學的組成，如花青素、酚的總含量、多酚氧化酵素的活動、glycoalkaloid的含量等都與品質有關。

育種成就

印度與中國是茄子栽培生產最多的國家，茄子的研究和品種改良工作在這兩國做了不少。尤其印度茄子叫Brinjal，是很重要的蔬菜，又是可能變異起源中心，種原豐富，品種繁多，對茄子的形態、顏色、品質各地區消費者的喜愛不同，因此品種改良工作也按各地區的喜好進行。茄子的研究工作多偏重在遺傳研究，與品種病虫害的抗性檢定篩選，而育種或品種改良方面，則著重本地品種的選拔改良以提高茄子的產量。茄子的栽培品種如Pusa Purple Long、Pusa Purple Round、Pusa Purple Cluster、Arka Shirish、Arka Kusumakar、Punjab Chamkila、Punjab Bahar 等都是從本地原有品種中選拔出來的。雖然各地區都有自己的品種改良工作，但育種仍以印度農業研究所(India Agricultural Research Institute)與印度園藝研究所(Indian Institute of Horticultural Research)為二大中心。IARI與IIHR都有系統性的育種計畫，除相關遺傳研究外，對抗青枯病的選育工作，也有很好的成績，育成的抗青枯病品系有Arka Keshav、Arka Nidhi、Pusa Purple Cluster、CH157、CH278等。

中國茄子品種很多，一般認為中國是第二起源變異中心，由於消費者喜好習慣不同，各地均有適合當地種植類型的地方品種。主要品種如圓茄有北京大紅袍、六葉茄、九葉茄、山東大紅袍、天津二敏茄等；長茄則有南京紫線茄、北京線茄、廣東紫茄、成都墨茄等；矮茄品種如北京小圓茄、濟南一窩猴等。1970年代以來研究茄子的雜種優勢，並利用選育出一些優良雜交一代品種，如紫長茄x久留米茄、蘇州長茄x徐州長茄、油罐x濟南長茄等，多半從地方種中選拔為親本雜交的品種，生長勢強、著果多、有增產的優勢。

台灣茄子是重要夏季蔬菜之一，品種改良工作在高雄改良場與屏東科技大學有引種、選種與一些雜交育種的計畫，但尚未有新品種育成。主要栽培品種為屏東長茄和麻芝茄。亞蔬中心於1992年將茄子列在主要研究作物，並開始收集種原與育種改良。因受資源限制，僅著重於種原評估、青枯病抗病篩選與育種等工作。種原園藝性狀與產量的評估，已完成500多種，並從其中選出優良的品種，每年春、夏、秋季進行產量比較試驗，有穩定高產量潛力的品種，將推荐給各國試驗。青枯病抗病篩選已從400多種原中，選出17品種在溫室和田間人工接種多次，都表現高度抗病性(罹病指數低於10%)，並於1996年開始在青枯病發生較多的熱帶南亞各國合作進行青枯病試驗，以測定這些抗青枯病遺傳來源其抗病性的

穩定性。另一方面青枯病抗病性的雜交育種，已進行至F_4世代，回交改良屏東長茄與麻芝茄的抗青枯病性，也進行至BC_2與BC_3世代。

台灣私人種子公司的茄子育種，以農友和生生為主。農友目錄列有9個品種，包括今年育成的5個品種：昭君、嬌娘、豐美、鳳娘與豐秀。生生的茄子品種更多，目錄上列有23品種，有各種形態與顏色，可能是應國際市場的需要，台灣則以長茄如王馬嬌、粉紅佳人栽培較多。私人公司育成的品種多著重於外表美觀與品質，一般抗病性都較弱，而且幾乎100% 是雜交一代品種。

歐美茄子的種類以大圓或長圓或梨形茄子為主，皮厚耐運輸，紫色或深紫色。茄子的育種多由私人種子公司進行，育種目標除了育成適合消費市場需求的特性外(如墨紫色、皮光滑發亮、綠色萼片、大小一致等)，適合玻璃溫室栽培的特性也是重要的目標。

育種與選拔方法

茄子育種與選拔方法，包括一般育種技術如引種、混合選種、純系選種、系譜選種法、混合選種法、單仔後裔法、回交育種法等。有些育種計劃結合數種方法，也是育種的策略。

一、自然變異的選種

老的地方品種，在本地栽培很久的品種，及從國外引種進來的品種，這些品種對某種環境已具有一定的適應力與遺傳差異，而且都是在手邊或是可取得的，育種家必須首先利用這些遺傳材料，仔細觀察看是否用簡單的選拔方法可以進一步改良。若有實質上的變異存在，則利用混合選種法將不好的單株去除，同時保有原有品種的特性。純系選種法也可應用，使那些具有最好的同質的品系更純化一致，再推廣給農民。

1.混合選種法(Mass selection)

目的是保存一品種或集團的優良性狀，其方法乃種植在田裡，去除劣株並依一定標準選擇優良植株，而將各單株種子混合採收做為繁殖。是一簡單選種法，常利用做保存固定品種的特性。

2.純系選種(Pure line selection)

於大栽培田區裡，選拔具有優良園藝性狀的最好單株，分別採收種子，每一單株成為一品系。第二年將選拔單株(品系)進行株行試驗，選拔最優良的品系，並將種子採收混合成為改良的品系。若純系選種的品系與原來品種有顯著不相同，可直接成為一新品種。

二、控制雜交變異的選種

選擇親本雜交後自交，其後代會引起相當大的變異，提供育種家在雜交後裔中有充分的選擇。若繼續自交雜交後裔，在自交作物品系內的差異會漸漸減少，但品系間的差異則增大。控制變異可以利用不同選拔方法，而如何選擇應用這些

方法，則要依據作物、育種目標、育種時間表、人工、土地、技術程度、經費來源等因素而決定。

1. 系譜法(Pedigree methos)

在雜交後代表現最大分離的F_2世代起開始行個體選拔，並記錄每一品系的家譜，其後行系統栽培，繼續作系統選拔及選拔系統內之個體，漸漸提高優良系統之固定度。系譜法提供育種家在各樣不同的後裔中選拔家系。F_2世代開始分離表現最大範圍的變異，其後集團中的雜合性因自交而快速減低，而相反的其同質性則增加。因此早期世代(F_2、F_3或F_4)的選拔是依據單株個體的表現，而後期世代(F_5以後)選拔，則必須轉向家系的生產性能。

系譜法在茄子育種上是最常用的方法，育種過程中不良的雜種後裔能夠及早觀察去除，利用系譜記錄與眼力的評估可以相當地減少群体的大小範圍。單株選拔通常進行至F_6世代，其後的選拔則依據家系的生產能力表現，並選拔一致性的家系(品系)，混合採收足夠的種子供品系產量及其他特性比較試驗用。

系譜法的優點是：早期可淘汰多數不良的材料，評估選拔可依據多年的表現能力，可以從一個雜交組合選拔差異性大的不同材料。其缺點是費時費工，限制雜交組合數目。

2. 混合法(Bulk method)

混合育種法處理雜交種後裔分離世代較簡單省時，從盛起分離的F_2世代起即放任自然行混合栽培，迨大多數個体成為同型結合時，始行個体選拔，而育成品系。這種育種法使自然淘汰有效利用，育種家可漸漸除去群體內的不良性狀，經過數世代後只有最適應者保留。當達到相當遺傳穩定性(同型結合体)時(F_5－F_6)行個体選拔，並做株行種植，在一系列的品系比較試驗中，評估選拔最好的品系。混合法工作需求較少，可以同時進行較多的雜交組合，也可以容許每一個組合種植較大的群体，因此遺傳基因結合的機會也增多。

3. 回交育種法(Backcross method)

回交育種法的目的是要轉移少數因子從一品種到另外一個具有一般優良性狀的品種，這個優良品種缺乏某一性狀如抗病性，而且這性狀是由單因子或少數因子控制的。這個優良品種稱為輪迴親(recurrent parent)，而具有輪迴親所缺性狀的親本稱為非輪迴親(non-recurrent parent)或授與親(donor parent)。當授與親是非商業栽培的適應品種，直接雜交育種很難育成有優良的遺傳結合時，回交育種法是最適合應用的方法。有時候授與親除了具有要轉移的基因外，另外也具有不少不良好的性狀，假設沒有不適當的連鎖，回交法可以只轉移想要的因子，而在育種過程中排除不良好的性狀。因此回交育種法對由少數因子控制的抗病性育種非常有用。

回交移轉顯性單因子控制的性狀很簡單，每一回交代即可由表現型選拔具有由授與親轉移來之期望性狀的植株，再回交輪迴親，重複此法至必要的代

數。如欲轉移之授與親的性狀是隱性，則每一回交代必須再自交，種植F_2世代，鑑定選拔具有隱性同型結合体的植株，再與輪迴親回交。回交有行一次者，亦有重複數次者。其重要者為目標性狀識別之難易與確實性，若識別容易確實，回交繼續任何次，其導入性狀亦不致遺失，但識別困難時，繼續回交，其目的性狀有遺失之慮，普通回交2－5次即可。回交法對遺傳力高簡單遺傳的性狀非常有效，但並不排除應用於複雜的數量性狀。

回交育種法的優點是：(1)即得性狀不易再遺失，因為改良是一種階梯方式，(2)育種計劃獨立，不受育種家目標環境影響，(3)沒有必要評估回交品種，(4)方法快速，可預期，可重複。唯一缺點是不能創造不尋常的基因組合，能夠比輪迴親更優良。

雜交種的育種

過去育種家的目標都是培育改良固定種，但從上世紀來雜交品種的利用明顯地增加，主要是私人種子公司育成並散佈雜交品種，因而有鼓勵栽培利用雜交品種之趨勢。茄子是自交作物，雜交品種優於普通固定品種，在理論上不會像異交作物那麼明顯，但是根據報告，茄子仍有相當的雜種優勢(hybrid vigour)。雜交品種的產量超過親本有10－44% (保加利亞)、48－164% 、(印度)、50% (孟加拉)等報告。

茄子雜交種的育種與其他作物相同，首先要育成具有不同優良性狀的自交系供作親本，上述的育種與選拔方法都可利用培育自交系。自交系育成後，進行組合力檢定試驗，選出組合力高的自交系，按育種目標交配組合F_1雜交品種，進行品種產量比較試驗，選出優良F_1雜交種。如果發現雜交品種有缺點如不抗病、品質差等，可改良自交系，而回交法是改良雜交種親本自交系最常用的方法。

茄子雜交品種的育種，有增加之趨勢，尤其私人種子公司幾乎育成的品種都是F_1雜交種，此與品種的保護有關。因此改進雜交種子的生產，使其更有效率更經濟是很重要。茄子雜交品種種子生產成本比其他蔬菜作物低，因為茄子花大容易除雄授粉，而且每一果實含的種子數亦比番茄、甜椒多，然而若能研發雄不稔系統，將可進一步減低成本。

抗青枯病育種範例

茄子青枯病(Bacterial wilt)是由病原細菌*Ralstonia solanacearum*引起的病害，此病是熱帶、亞熱帶地區茄子生產的限制因子。青枯病是土壤病害，寄生範圍非常廣泛，防治不易，種植抗病性的品種是最有效克服此病害的方法。印度園藝研究所有抗青枯病茄子育種計劃，也曾育成一些抗病品系，但其抗病育種過程的報告很少。亞蔬中心於1993年開始進行青枯病育種，茲將其篩選抗病種原，抗病材料的利用及育種計劃進行情形介紹如下：

一、青枯病人工接種方法

青枯病的人工接種早期多採用剪葉法、土壤注射法及浸根法，後來改用土壤灌注法接種，變異較小可信度較高，目前番茄、番椒和茄子的青枯病溫室篩選均採用此法。溫室人工接種係將茄子種子種在二寸塑膠育苗缽，介質用蒸氣消毒過的混合土(土壤：稻殼：沙：堆肥＝3：1：1：1)，每品種15株，重複3次，RCBD設計。幼苗30天大時(約3-4片真葉)，在距離幼苗2公分處以刀子切入土中，人工割傷一部分根群，然後澆灌每株(盆)，30ml青枯病病源菌懸浮液(接種原)。青枯病的接種原為台灣菌株Pss 97(race 1, biovar 3)，由植物病理人員準備，並調節濃度為10^8 cfu/ml。接種茄苗放置溫室內保持高濕度與溫度在25－35℃間，發病病徵每週記錄一次，按照Winstead 與Kelman(1952)的分級並計算發病指數。這種人工接種方法可大量篩選出抗病植株，以供田間人工病圃複檢。溫室接種發病記錄期間為一個月。

田間人工病圃的設置方法，乃選擇一塊較隔離的田，於篩選材料種植前6－8週，先種植青枯病接種過的番茄苗(可密植)，番茄要選最感病的品種如L390，讓番茄在田裡發病達100% 發病萎凋死亡，然後犁入土壤中，使細菌繁殖增加土壤青枯病的族群密度，保持為病圃。欲篩選的茄子材料即可種植在病圃檢定其抗病性，記錄存活百分率。青枯病的發生需要高溫，因此田間病菌的篩選應在夏季進行。田間發病觀察記錄時間，可延長至二個月。

二、種原青枯病抗病性篩選與抗病性材料

約有400多種的茄子種原，已經經過溫室青枯病抗病性的篩選，少部分種原經溫室與田間病圃，重複接種檢定後，證實確有高度抗病性。溫室接種和田間病圃接種，效果相同，二者有顯著正相關(r=0.614)。另外由印度特別收集的抗青枯病種原中，有15品種對菌株Pss 97具有高度抗病性，經重複檢定試驗結果，9品種(EG191、EG192、EG193、EG195、EG196、EG197、EG203、EG219、EG221)有穩定的高程度抗病性、其感病指數均在10% 以下，這些抗病種原，均可利用為抗病性育種材料。根據報告番茄的抗青枯病性不穩定，因地方不同而異，又其抗病性穩定程度則因品種不同而異。因此亞蔬中心已選擇17個抗病品種的茄子，繁殖種子分送南亞、東南亞各國試驗，以測定這些品種的抗病穩定性(表7)。

三、抗青枯病育種

1.抗青枯自交系的培育

選擇優良品種與抗青枯病品種雜交，F_2世代先於溫室進行幼苗青枯病接種，選拔沒有感病的苗移植到病圃田，以系譜法選拔優良園藝性狀的單株自交演進下一世代。一般F_2世代溫室接種一個月，沒有病徵的苗株平均約佔68% ，移植病圃田後到成株採收期，存活的植株平均佔總株數的60% 。從F_3世代後可重複相同程序，選拔抗青枯病個体直至抗青枯病性同型結合，以培育抗青枯病並具其他優良性狀的自交系。自交系可以做雜交品種的親本，也可以直接當做固定品種利用。

2.回交改良屏東長茄與麻芝茄的抗青枯病性

屏東長茄與麻芝茄為台灣最普遍的茄子栽培品種，品質優良，農民與消費者都喜歡，但對青枯病的抵抗性不高。為了改良這兩個地方品種的抗病性，選擇具有高度抗病性的品種如EG203、EG193等雜交，其F_1再以屏東長茄或麻芝茄為輪迴親本回交2－3次，然後自交，從其回交後裔中選拔抗病性高而其他性狀與輪迴親相似的單株繼續自交，以固定抗青枯病性。

3.抗病與感病品種間的雜交種

茄子青枯病抗病性的遺傳行為，有報告說是一對顯性因子控制，也有報告從雜交抗病和感病親本的F_1對青枯病的反應而認為係隱性因子控制。這種差異可能所用材料不同，或病原菌菌株與環境不同的影響。如果抗病性是顯性基因控制，雜交抗病品種與感病優良品種，是產生抗病雜交一代品種的快速方法。

亞蔬中心選擇6個抗青枯病(R)品種(EG192、EG193、EG194、EG203、S7、S64)與21個感病優良品種(S)組合雜交，得到77個(S x R) F_1雜種，溫室人工接種青枯病的結果，其中27種表現高度抗病，28種中等抗病，17種中等感病，5種感病。因此雜交品種對青枯病的反應，乃視親本的組合而定。六個抗病品種以EG193的組合最好，15個F_1雜交種有5個高度抗病，5個中等抗病。另外18個R x R的雜交組合中有13個雜交品種顯示高度抗病性，4個中抗性，1個感病。因為雜交親本品種有些是固定品種，不是自交系，可能有異型結合的遺傳背景，又抗病性的遺傳，可能不是單純的行為，因此雜交品種間對青枯病的反應，看不出有一致的現象。有抗病性的品種通常都在園藝性狀上有些缺點，不過這裡選擇的6個抗病品種的果實品質都是消費者可以接受的，若雜交組合F_1品種的產量潛力不錯，抗青枯病性又高，便可直接推廣於青枯病為害的熱帶地區。產量的比較評估試驗已進行兩次，產量有的高達40－50公噸/公頃。

茄子育種與生物技術的應用

茄子雖然不是很重要的蔬菜作物，但新技術生物技術在茄子育種上的應用研究也不少。這些新生物技術，從組織培養到DNA操作基因轉殖，都已應用在茄子的育種上。主要目的在獲取新的基因型(genotypes)或大量繁殖個体，及縮短育種時間加速新品種的育成。應用在茄子育種上的新技術可歸納下面幾方面：

一、人工種子(Artificial seed)

体細胞胚經組織培養產生，再以適當的載体(人工胚乳)包裹形成人工種子。當需要大量繁殖一個基因如F_1，應用人工種子技術可避免有性繁殖的一些問題，並可全年生產不受氣候環境的影響。茄子有強的再生能力，組織培養的体細胞經胚形成(embroygenesis)過程可大量生產人工種子。

表7. 茄子種原接種青枯病病原菌Pss97 後之病害反應

Table 7. Reactions of 18 eggplant accessions inoculated with *Ralstonia solanacearum* strain Pss 97

品種代號 Acc. Code.	品種名 Variety	來源 Source	果實性狀 Description		病害指數 Disease index(%)[b]		青枯病反應 Disease reaction[c]	
			顏色 Color[a]	形狀 Shape[a]	溫室 GH[d]	田間 Field	溫室 GH[d]	田間 Field
TS 3		Malaysia	G	O	5	3	R	R
TS 7	MTE 2	Malaysia	P	CM	8	11	R	MR
TS 47A		Malaysia	G	CL	2	5	R	R
TS 56B	Terong Hijan	Indonesia	GW	O	16	8	MR	R
TS 64	Jackpot	Netherlands	P	CM	12	10	MR	MR
TS 69	Gelatik	Indonesia	G	O	1	7	R	R
TS 75		Thailand	G	CL	10	18	MR	MR
TS 87	Glatik	Indonesia	GW	O	4	9	R	R
TS 90		Indonesia	G	O	2	2	R	R
EG 014	Slim Jim	Italy	P	CS	7	11	R	MR
EG 190	SM6-6	India	W	CS	2	7	R	R
EG 191	Arka Keshav	India	RB	CL	3	5	R	R
EG 192	Arka Shirish	India	P	CS	35	4	MS	R
EG 193	Arka Nidhi	India	RB	CM	5	2	R	R
EG 195	BB49	India	GW	TD	4	9	R	R
EG 203	Surya	India	DP	O	0	7	R	R
EG 219	BB44	India	GW	CS	4	9	R	R
EG 120	Bonne (check)	Taiwan	P	CL	92	100	S	S

a. Color:DP as dark purple, G as green, GW as green with white stripes,P as purple,RB as reddish brown and W as white; Shape: CL as cylindrica long, CM as cylindrical medium long, CS as cylindrical short, O as oval, and TD as teardrop.

b. Disease index = 【（Σni x i）/（N x 5）】 x 100% , where Ni=no. of plants with i scale, i= 0-5, N= Total plants tested; Symptoms of each scale are: 0= no symptom, 1= one leaf wilted, 2= two or three leaves wilted, 3= all except the top two or three leaves wilted, 4= all leaves wilted, and 5= plant dead.

c. Disease reaction: R= DI% less than 10% ; MR = 10-20% ; MS = 21-40% ; S = more than 40% .

d. TS and EG series were screened at seedling stage in different greenhouse trials.

二、花藥與胚珠培養(Anther and ovule culture)

傳統的育種利用自交或回交，以取得同型結合体是很費時間與過程，單倍体可經由花藥或胚珠培養獲得，再經過染色体加倍後，即可成為同質結合的自交系。花藥培養單倍体在歐洲與中國大陸已應用在實際茄子的育種上。

三、原生質融合(Protoplast fusion)

目的是克服雜交不親合的障礙，轉移目標性狀，以取得可能增加的遺傳變異。茄子應用細胞質融合技術，可轉移野生種的重要性狀如抗病性到栽培種上，其成功獲得種間雜種的例子，已在前面種間親和性一節論述。

四、遺傳基因轉殖(Genetic transformation)

茄子利用農桿菌(*Agrobacterium*)轉殖基因的報告已經有數篇。其中轉殖技術的研究和轉殖*Bacillus thuringiensis* (Bt) Cry IIIB toxin 基因及昆虫有毒的縮氨酸(toxic peptides)基因，抵抗昆虫如Colorado potato Beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) 與茄螟(*Leucinodes orbonalis* Guen.)。

參考文獻

1.何 康、劉瑞龍等 1990 中國農業百科全書蔬菜卷 農業出版社 北京中國

2.中國農業科學院蔬菜研究所 1987 中國蔬菜栽培學 農業出版社 北京中國

3.台灣省政府農林廳 1996 台灣農業年報

4.AVRDC 1994, 1995 AVRDC 1993,1994 Progress Report Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taina, Taiwan

5.AVRDC 1996, 1997, 1998 AVRDC 1995, 1996, 1997 Report. Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Tainan, Taiwan

6.Chadha, M.L. 1993 Improvement of brinjal, Advances in horticulture (Eds: Chadha, K. L. and Kalloo, G.) vol. 5 – vegetable crops 105-135

7.Chadha, M. L. 1993 Breeding methodology and improvement in brinjal. In: AVRDC 1993 Breeding solanaceous and cole crop p. 122-134.

8.Chen, Nung-Che, Li, Huei-mei and Wang Jaw-fen 1997 Bacterial wilt resistance sources in eggplant, *Solanum melongena.* Bacterial Wilt Newsletter. No.14: 4-5, May 1997

9.Dannay, M. C., Lester, R.N. and Laterrot, H. 1991 The use of wild species for the genetic improvement of brinjal eggplant (*Solanum melongena*) and tomato (*Lycopersicon esculentum*). In: Solanaceae III: Taxonomy, chemistry, evolution (eds: Hawkes, J.G., Lester, R. N. Nee, M. and Estrada, N.) Royal Botanic Garden Kew and Linnean Society of London. Pp 389-412.

10.FAO 1997 Production yearbook 1996.

11.Filippone, E., Penza, R. and Romano, R. 1992. Advanced biotechnologies applied to eggplant (*Solanum melongena* L.)breeding. Capsicum Newstetter special issue 260-265; EUCARPIA VIIIth meeting on genetics and breeding on capsicum and eggplant, Rome, Italy, 7-10 September 1992.

12.Fugro, P.A., Rajput, J. C., Patil, V. H. and Jadhav, D. A. 1994 New bacterial wilt resistant F1 hybrids of eggplant. Capsicum and Eggplant Newsletter 13:107-109.

13.Sadashiua, A. T., Deshpande, A. A., Madhavi Reddy K. and Singh, R. 1993. New sources of resistance to bacterial wilt in eggplant. Capsicum and Eggplant Newsletter 12:94-96.

14.Som, M. G. and Maity, T. K. 1986. Brinjal. In: Vegetable crops in (eds: Bose, T. K. and Som, M. G.) Naya Prokash, Calcutta, India p. 293-342.

15.Winstead, N.N. and Kelman, A. 1952. Inoculation technique for evaluating resistance to *Pseudomonas solanacearum.* Phtopathology 42:628-634.

台灣蔥科蔬菜品種改良之研究

張武男　　　　黃　鵬
國立中興大學　　花蓮區農業改良場

前　言

蔥類植物可供人食用的很多，在台灣較重要的蔥科蔬菜作物有洋蔥、大蒜、蔥、韭菜、分蔥等。台灣洋蔥過去曾為重要之外銷蔬菜，1996年之栽培面積為859公頃（表1），每公頃產量為50.7公噸（表2）。種植面積以屏東縣之82.2%居首，其次為彰化縣之11.2%、高雄縣5.6%，此三縣栽培面積即佔全省之99.0%（表3）。這是因台灣北部地區冬季氣溫較低，雨水連綿，造成洋蔥易罹病害，鱗莖發育不良，產量較低，且抽苔率高，並不適合洋蔥之栽種，故栽培地區集中於中南部。台灣大蒜(包括蒜球及青蒜)歷年生產面積自1955年至1980年逐年增加，而以1980年12,265公頃為最高，自此後開始逐年減少。主要原因大蒜原為台灣重要外銷蔬菜之一，但台灣近來工資高漲，生產成本增加，不易在國際市場競爭，影響農民生產大蒜之意願。蒜頭之栽培面積1996年為7,381公頃，栽培地區非常集中，僅雲林縣即佔總面積之86.0%，台南縣佔6.5%、彰化縣佔4.2%。青蒜栽培面積1996年為1,824公頃，以中南部雲林縣之40.5%居首，其次北部宜蘭縣之22.2%、台中縣之11.1%。台灣蒜球之生產期間需 5-6個月，比青蒜之三個月生育期間較長，而且蒜球之結球與豐歉，受氣候之影響很大。因此台灣蒜球之生產地一向很集中，而青蒜分佈地區則未如蒜頭集中。

蔥為本省重要的調味蔬菜，栽培面積在1955年為3,231公頃，爾後15年面積皆維持在 3 千公頃，至1970年時為3,283公頃，然後逐漸上昇，至1980年達4,946公頃，然後栽培面積皆穩定的維持在5000至6000公頃之間。蔥栽培面積1996年為4,718公頃，以雲林縣之39.7%最多，其次彰化縣11.3%、宜蘭縣之10.8%、嘉義縣7.3%、高雄縣6.8%，各縣之分佈較為平均，顯示蔥之適應性較廣。

韭菜之栽培面積1996年為926公頃，以彰化縣59.2%最多，其次台中縣13.3%、桃園縣7.2%、花蓮縣5.8%、台北縣4.4%，全省均有分佈。分蔥之栽培面積1996年為1,029公頃，以台南縣58.5%，雲林縣14.8%、台南市14.2%、嘉義縣8.0%、屏東縣 4.1%。

綜觀上述資料，食用部位為鱗莖者如洋蔥、蒜頭、分蔥其生產地較為集中於中南部，這主因鱗莖之結球，受氣候之影響很大，而中南部冬季乾旱而涼爽的氣候適其生長。食用部位為葉者如青蒜、蔥、韭則適應性較廣，栽培地區較為分散於全省各處。

表1.　台灣主要蔥科蔬菜歷年種植面積之比較　　　　單位：公頃

年次	蔬菜	蔥	韭	洋蔥	分蔥	大蒜	
						青蒜	蒜頭
1955	80,442	3,231	1,982	-	-	3,179	
1956	81,859	3,306	2,023	1,144	-	3,097	
1957	84,194	3,246	2,078	617	-	3,108	
1958	87,298	3,271	2,230	570	-	3,187	
1959	88,280	3,405	2,154	389	-	3,310	
1960	91,601	3,539	2,217	511	-	3,839	
1961	90,556	3,427	2,174	362	-	3,868	
1962	94,248	3,533	2,212	424	-	4,155	
1963	101,685	3,629	2,149	696	-	4,348	
1964	101,107	3,210	1,957	1,925	387	3,155	1,445
1965	108,808	3,015	1,897	577	720	2,498	1,685
1966	112,866	3,101	1,982	719	757	2,581	1,317
1967	114,754	2,889	1,582	595	993	2,483	1,475
1968	118,462	3,403	1,637	674	1,174	2,548	2,020
1969	133,594	3,854	2,152	1,005	1,153	2,687	1,956
1970	141,540	3,283	1,438	472	813	2,605	2,034
1971	146,706	3,197	1,578	523	805	2,649	2,117
1972	148,557	3,642	1,422	1,067	906	2,770	3,129
1973	154,798	3,266	1,517	787	894	2,807	3,159
1974	167,737	3,161	1,192	841	909	2,755	3,266
1975	187,381	3,830	1,049	992	1,665	3,868	4,803
1976	191,966	4,270	771	1,094	1,628	3,490	5,070
1977	201,886	4,370	750	983	1,507	3,537	5,706
1978	220,279	5,592	836	1,044	2,694	3,205	6,165
1979	226,899	4,873	964	810	1,991	3,684	7,186
1980	230,977	4,946	1,088	1,173	2,531	3,744	8,521
1981	221,407	4,954	999	835	2,767	3,691	5,651
1982	227,513	5,148	1,008	1,102	2,548	3,283	6,108
1983	224,614	5,293	935	960	3,049	3,170	7,947
1984	232,655	5,783	1,225	911	2,125	3,275	6,880
1985	226,443	5,629	1,300	980	1,980	2,812	6,833
1986	239,707	5,888	1,270	883	1,568	3,104	6,607
1987	224,533	5,942	1,192	1,019	1,391	3,190	6,899
1988	215,563	5,440	1,146	562	1,878	3,291	3,578
1989	200,519	5,206	1,336	900	2,385	2,653	4,460
1990	188,249	5,001	1,121	1,124	1,645	2,068	5,154
1991	190,946	5,594	995	1,068	1,371	1,850	5,673
1992	188,736	5,763	985	996	1,645	1,934	5,784
1993	184,309	5,358	958	827	1,081	1,685	6,087
1994	170,812	5,196	888	695	935	1,364	5,386
1995	173,048	4,842	861	756	966	1,626	5,260
1996	176,774	4,718	926	859	1,029	1,824	7,381

資料來源：台灣農業年報

表2. 台灣主要蔥科蔬菜歷年單位面積產量比較　　單位：公噸／公頃

年次	蔥	韭	洋蔥	分蔥	大蒜	
					青蒜	蒜頭
1955	7.6	8.3	-	-	7.6	
1956	7.7	8.3	10.9	-	8.0	
1957	8.0	8.6	12.7	-	7.6	
1958	8.3	7.9	11.7	-	7.5	
1959	7.5	8.1	14.1	-	7.8	
1960	7.7	8.3	22.4	-	8.2	
1961	7.6	8.4	25.1	-	9.1	
1962	7.5	8.3	18.9	-	9.3	
1963	7.8	8.7	28.7	-	9.5	
1964	7.8	10.2	32.7	7.5	8.0	6.6
1965	8.7	10.1	33.4	6.0	9.0	7.4
1966	8.6	7.3	25.9	5.3	8.9	7.5
1967	9.0	10.1	37.7	5.6	8.7	7.8
1968	9.8	11.3	38.0	5.8	9.6	7.8
1969	10.1	10.2	31.0	5.0	9.7	10.2
1970	13.1	11.2	43.7	5.4	11.0	11.2
1971	11.1	7.4	45.9	6.2	10.4	7.9
1972	11.0	13.1	30.8	6.7	11.4	7.8
1973	12.1	15.7	26.9	6.4	12.4	10.4
1974	11.5	16.3	30.6	6.7	11.6	11.6
1975	12.4	13.3	27.2	6.5	11.7	7.9
1976	12.2	16.2	35.7	6.2	13.3	11.9
1977	12.6	15.7	38.4	6.7	15.3	8.6
1978	11.3	16.7	36.5	7.3	14.3	8.2
1979	13.0	13.0	31.7	7.0	15.4	8.5
1980	13.7	26.9	35.8	7.5	15.9	7.6
1981	12.6	15.8	36.0	6.7	15.1	8.5
1982	12.6	16.1	36.6	8.0	13.9	9.1
1983	12.9	15.3	23.6	3.1	13.7	6.3
1984	13.3	15.8	41.5	9.5	14.1	8.4
1985	13.6	17.5	33.7	7.7	13.3	8.2
1986	13.6	18.3	30.4	9.2	15.0	8.5
1987	14.0	17.8	30.1	9.4	15.2	8.2
1988	14.5	20.8	35.6	9.6	14.1	8.2
1989	13.8	21.9	27.8	10.5	14.8	8.4
1990	14.2	20.6	27.5	7.9	15.8	7.8
1991	14.1	26.5	34.0	8.5	17.5	7.6
1992	15.3	29.8	32.2	5.8	18.6	7.7
1993	15.2	30.5	31.5	10.8	17.9	8.9
1994	15.8	29.1	42.0	9.6	18.5	8.2
1995	19.2	30.7	39.6	9.9	20.3	7.8
1996	18.5	32.9	50.7	10.7	19.5	10.7

資料來源：台灣農業年報

表3. 1996年台灣主要蔥科蔬菜生產地區之比較

作物	種植面積 (ha)	主要產地及百分比					
蔥	4,718	雲林縣 39.7 %	彰化縣 11.3 %	宜蘭縣 10.8 %	嘉義縣 7.3 %	高雄縣 6.8 %	合　計 75.9 %
韭	926	彰化縣 59.2 %	台中縣 13.3 %	桃園縣 7.2 %	花蓮縣 5.8 %	台北縣 4.4 %	合　計 89.9 %
洋蔥	859	屏東縣 82.2 %	彰化縣 11.2 %	高雄縣 5.6 %	台東縣 0.5 %	澎湖縣 0.5 %	合　計 100.0 %
分蔥	1,029	台南縣 58.5 %	雲林縣 14.8 %	台南市 14.2 %	嘉義縣 8.0 %	屏東縣 4.1 %	合　計 99.6 %
青蒜	1,824	雲林縣 40.5 %	宜蘭縣 22.2 %	台中縣 11.1 %	彰化縣 6.9 %	新竹縣 5.2 %	合　計 85.9 %
蒜頭	7,381	雲林縣 86.0 %	台南縣 6.5 %	彰化縣 4.2 %	台南市 1.5 %	嘉義縣 0.8 %	合　計 99.0 %

資料來源：台灣農業年報

表4. 台灣主要蔥科蔬菜之學名及英名

學　　名	中　　名	英　　名
Allium fistulosum L.	蔥、青蔥	Japanese bunching onion Welsh onion
Allium tuberosum Rottl. ex k. Spreng	韭菜	Chinese chive Chinese leek
Allium cepa L. *Cepa* group	洋蔥、蔥頭	Onion Bulb onion Common onion
Allium cepa L. *Aggregatum* group	分蔥、大頭蔥、紅蔥頭、珠蔥	Shallot Multiplier onion
Allium sativum L.	蒜、蒜頭、大蒜、青蒜	Garlic Common garlic

洋　　蔥

洋蔥學名為 *Allium cepa* L. (表4)，為蔥科蔥屬二年生草本植物，原產於亞洲中部、西部與地中海沿岸(4)。何時傳入中國，尚少確實文獻記載，栽培品種約在清朝末年傳入大陸，黃河流域頗為盛行，俗稱洋蔥。台灣地區之洋蔥可能在明末由西班牙人和荷蘭人引入台灣，但未曾推廣(5)。日據時代曾試種洋蔥，但因自然條件、栽培技術等因素之影響，未能成功。1952年以後，洋蔥逐漸改良、推廣，遂發展成秋冬季裡作之主要作物，以高屏地區之恆春半島為本省洋蔥之主要產地(20)。

一、品種

下表列出本省主要推廣栽培品種之特性(2,21)

表5. 洋蔥主要栽培品種之特性

品種	株形	葉筒大小	成熟期	蔥球堅硬	貯運力	產量	黑斑病抗性
早玉	開展易折倒	粗長	中早	鬆軟	弱	尚高	弱
金環	開展易折倒	粗長	早	稍硬	中	高穩	中
亨利	直立	中粗	早	稍硬	中	高穩	中
勝早玉429	直立	中粗	早	硬	強	高穩	強
台南一號	直立	粗長	中晚	硬	強	高穩	強
台南選二號	直立	粗長	中晚	硬	最強	尚高	強
台農選三號	直立	中粗	早	硬	強	尚高	強

二、台灣地區洋蔥品種改良之研究

台灣洋蔥商業栽培歷史較其他蔥科蔬菜短，至1952年前皆尚未有商業栽培。台灣洋蔥最早係於1933年日據時期由台北州農事試驗場自美國及日本引進數種長日性品種試種，此等品種為晚生種，在北部冬春季多濕之環境中栽培，皆因氣候不適而未獲成功(3)。1935年再自歐洲引進數種短日性品種，曾有Express Globe 品種生育良好之記載，後因戰爭關係，未繼續試驗(20)。因此台灣於1952年以前並無商業之生產，至1952年經農復會之協助，農林廳由美國引種，由台灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所試種成功，如早玉(Early Grano) 及黃勝(Excel Bermuda) 二品種，每公頃獲得三十公噸以上之產量，證實台灣南部冬季短日照時期之乾燥環境，可選出適於短日栽培品種(16)。於1954年開始推廣，1956年以後除供內銷外，尚有大量外銷以賺取外匯。自此以後台灣由進口洋蔥而變為可以外銷洋蔥的國家(33)。

自1954年來，早玉品種一直為栽培面積最多之早生品種，其為甜質洋蔥、皮薄、肉質鬆、產量豐碩，適於外銷日本、琉球等地供鮮食用，但此品種不抗紫根病、易感染軟腐病、不耐貯運、分球率及抽苔率高，鱗莖發育不良時易呈紡錘形。但因其早生之特性可以配合日本市場所需及產量高且穩定，故一直深受農民喜愛

(16,31)。其後鳳山熱帶園藝試驗分所又曾繼續引進各種品種，期能選出更適合本省栽培之新品種，以改進現有品種並拓展外銷。於1964年選出金環(Hybrid Ring Gold)品種，產量較早玉高且早生，1978年再選出亨利一代雜交品種（F_1 Hybrid Henry's Special)產量更佳，因而有部分農民栽培此兩種品種。近年來勝早玉429（F_1 Hybrid Granex 429）品種試作成功後，已成為目前最主要之栽培品種，每公頃產量可高達60至80公噸，且合格品比率比早玉增加33.2%(23,24)。

自1958年起，台南區農業改良場施銀行先生開始從事洋蔥之雜交育種工作，選出早玉（Early Grano），紅玉（Red Creole）及聖玉（Sanjoaquin）等三品種作為育種材料，以紅玉為母本分別和早玉、聖玉雜交，至1972年選育出6個系統行地方試驗，於1976年命名完成台南一號及台南選二號兩品種。台南一號之特點：中晚生種、鱗莖扁圓形、大球多、外膜厚而光滑極耐貯運、分球率低、品質優良。台南選二號為紅皮洋蔥，鱗莖較小、硬實、辣味強、惟產量較低(22)。

鳳山熱帶園藝試驗分所於1975年引進Takii F_1 Hybirid Onion No.100，具有成熟期早、產量高、結球整齊、分球率低並耐貯藏等優良性狀。遂於分離後裔中利用集團混合選拔，進行育種工作，1985年完成並經命名為台農選三號洋蔥(31)。

台南一號洋蔥自1976年命名推廣，以其耐貯力強雖受日本市場之歡迎，惟其產量經試驗單位栽培具有每公頃70公噸之高產特性，一般農民栽培卻僅能獲得30公噸左右，較早玉品種為低，因此其推廣面積不易擴增，僅供一般貯藏及漁船上採用。台農選三號洋蔥品種試驗栽培亦具有每公頃98公噸之高產量記錄，惟一般農民亦無法達到，且低於目前栽培之勝早玉429，以至無法大量推廣(23,26)。

三、台灣地區洋蔥品種改良未來工作重點

1. 育成適於本地之品種，台灣緯度低，春夏氣溫高，在冬季短日照下，方是洋蔥栽培之合適時期，故應以育成短日照、適應性佳、產量高且穩定、耐貯藏之品種為育種目標。
2. 育成抗病蟲害之品種

大　蒜

大蒜學名為 *Allium sativum* L. (表4)，大蒜原產中亞細亞，栽培史至少有2,000餘年。在我國北方與大蔥、韭菜同為主要蔬菜，栽培頗多。大蒜葉在莖葉柔嫩時可食用，稱為蒜苗，其中綠色的稱青蒜苗，軟化的稱蒜黃。含苞的花莖為高貴美味的蔬菜，稱蒜苔，最後長成由鱗瓣集合成的鱗莖稱為蒜球，即是用途最廣的蒜頭。台灣由初來台者從大陸引進，今遍及全省，成為重要蔬菜之一。

一、品種

台灣大蒜品種的系統相當混雜，其中較優良的品種有下列幾種：(8,29)

1.西港埔蒜：為台灣自留之品種，早熟種，植株矮小，屬於硬骨小葉種系統

之一，蒜球小，瓣數多，皮膜帶紅紫色，產量較低，只適於早期生產栽培，雖產量較低，因其早熟之故，栽培者仍多，專供種球之用。收穫後多以鮮蒜球(未充分曬乾之濕蒜球)供應內外銷之用。

2.學甲大片黑：屬於硬骨大黑葉種，葉色濃綠，直立，葉片寬闊，蒜球成熟期中早，蒜球大，蒜瓣中大，皮膜稍帶紫色，適於蒜球內外銷及加工之用。莿桐黑葉，西螺黑葉，亦屬此品種。

3.西螺白葉：屬於硬骨大白葉種之優良系統，葉色稍淡，其葉寬大而稍下垂，中晚生，蒜球大，蒜瓣亦大，皮膜稍帶黃褐色，產量高，適於青蒜及蒜球用，蒜球可供內外銷及加工之用。

4.花蒜：屬於晚生軟骨蒜，葉質柔軟，葉片寬，粉青色，極易抽苔，尤其氣溫較低時更易。屬於晚生種，蒜球中大，可供青蒜、蒜苔、蒜頭之用。

5.北蒜：又名嘉定種，株型高大，葉質柔軟，品質優良，本品種在台灣不易結球，一般作青蒜用，每年由大陸間接進口，供晚植青蒜栽培之用。

6.印尼早生：葉色較淡，葉質柔軟而下垂，葉鞘莖甚長，不抽苔，初期生育快，極早生，比鳳山選一號可早一個月成熟。蒜膜白色，蒜球白，蒜瓣也大。

7.鳳山選一號：由西螺白葉品種中選出，屬於硬骨大白葉種，植株生長旺盛，葉色稍淺，葉寬下垂。中晚生，蒜球大，皮膜稍帶黃褐色，產量高，適於青蒜或蒜球用。

8.鳳山選二號：屬於硬骨大黑葉種，由學甲大片黑品種中選出，植株生長健壯，葉直立，濃綠色，葉片寬，屬硬骨蒜。抗毒素病及紫斑病，蒜球大，皮膜稍帶紫色，產量高，蒜球供外銷及加工用。

二、台灣地區大蒜品種改良之研究

台灣鳳山熱帶園藝試驗分所近年來做了不少工作，台灣大蒜品種的系統相當混雜，1960年代鳳山熱帶園藝試驗分所曾搜集全省各地的大蒜，按葉片大小、顏色深淺，與葉質軟硬而分為6型：硬骨小黑葉、硬骨大黑葉、硬骨小白葉、硬骨大白葉、軟骨黑葉、軟骨白葉等。並於1965年從許多本省混雜的大蒜地方品種中選拔鳳山選一號、鳳山選二號推廣。

大蒜由於多年來無性繁殖關係，大蒜嵌紋病在台灣發生嚴重，可經由蒜球感染。林俊義(1982)田間調查發現中部地區五個大蒜栽培區種植之大蒜，96%以上均受嵌紋病感染，受感染之大蒜產量及品質均顯著地降低[13]。感染後植株葉片呈現濃綠與淺黃線條之嵌紋病徵，減低光合作用，影響蒜球之肥大，一般輕微嵌紋病株可減低蒜球產量 20%，嚴重嵌紋病株可減產達40～50%[8]。為解決大蒜嵌紋病毒之問題，鳳山熱帶園藝試驗分所建立大蒜無病毒健康種蒜生產體系，供給農民種植，增產效果甚大。此方法為利用大蒜莖頂生長點組織，配合酵素結合抗體檢定法(ELISA) 篩選無病毒健康植株，培養無病毒之優良健康蒜種，在隔離網室進

行原原種繁殖[9,10,11,12,25]。再委託農家在網室內繁殖原種，並將母球選給可靠的採種農家或採種班作集團生產，然後分配給一般蒜農生產蒜球供應市場。利用大蒜莖頂生長點組織培養繁殖無病毒之健康苗為避免大蒜毒素病發生之有效方法之一，但此方法費工費時，成本甚高。另利用熱療處理雖無法除去病毒，但對病毒之不活化性有效，如採用熱水熱療以48-50℃熱水處理15分鐘為宜。如採用熱風熱療則以40℃熱風處理蒜球70天，蒜瓣60天為宜[6]。

鳳山熱帶園藝試驗分所亦繼續從國外引入新品種篩選較抗(耐)毒素病之大蒜品種[25,27]。選出優良健康種蒜品種(系) 83-12、75-12、75-4 及育出之健康種有A2、A10-2、F1、116、98 及1330等多品系在隔離網室繁殖成功，其性狀優良，產量及品質佳，抗病力強等優點。

此外分所近年亦進行青蒜用品種(系)之改良，利用鳳山分所選育之優良品系F_1等 6 品系與北蒜比較，測定平地與高冷地大蒜品種之適應性。桃園區農業改良場以北蒜(嘉定蒜)等七個品種進行選拔工作，適合桃園地區9月至翌年4月栽培青蒜品種以北蒜最佳(2,503公斤／10公畝)[18]。

台南區農業改良場近年亦開始彙集國內外大蒜品種，選育優良種蒜，國內收集之品種均感染毒素病，自印尼引入之CITC -75-10及CITC-1111感病較輕，產量較高，蒜球品質較佳，較具潛力[32]。

三、台灣地區大蒜品種改良未來工作重點

1.優良種蒜及建立健康苗之生產方法與制度

2.品種改良，包括育成抗病（毒素病、黑斑病、軟腐病等）球大、瓣少、緊密及耐貯藏之品種。

3.早生硬骨種之生育期，在台灣必須配合水稻冬季裡作之生長期，才有廣闊之栽培面積。

4.晚生軟骨種，在台灣多以青蒜供應市場，栽培面積不廣，栽培時期亦長。以選葉質柔軟，抗病力強者為合適。

蔥

蔥之學名*Allium fistulosum*, L. (表4）原產中國中部和西部高原[4]，為中國重要之香辛蔬菜。栽培歷史至少在3000年以上。華北各省所產者，蔥白部長30公分左右，直徑多在2～3公分，品質更佳，和大蒜同為家常不可或缺之蔬菜，可周年供應。蔥因栽培容易，各地亦極普遍，栽培面積頗廣，為重要蔬菜之一。台灣早年由大陸移民者傳入，蔥經多年栽培改良，亦可周年供應不斷。

一、品種

目前栽培的主要有下列幾種[1,3,28]：

1.北蔥：因性喜濕地，亦名水蔥，又台灣北部栽培最多，故名北蔥，亦有麥

蔥之稱。原由福建省泉州或漳州所引進，分布全省各地，目前以南部栽培最多，北部栽培的已逐漸為九條蔥所取代。本品種較耐熱，耐濕，忌乾旱，葉身較細長，葉肉薄，淡綠色，分蘗少。肉質較硬，品質較差，但能在高溫之夏季生長，為其特點，適於夏季栽培。在本省的氣候條件下北蔥自國曆九月中旬起就會陸續開花，播種期3～9月，市場供應期為6～11月，一般以種子繁殖。

2.四季蔥：又稱日蔥、日本蔥、大廣蔥、九條蔥，分佈全省各地，以北部栽培最多。耐熱性較差，比較適合冷涼氣候。耐旱性強，葉身較北蔥大，葉肉厚且柔軟，品質優良，在秋冬季生育強，分蘗也多，除7～9月無大量生產外，其餘各月均生產。每年3月起即會陸續開花，一般以分株繁殖。

3.大蔥：葉色濃綠，葉肉厚，葉身直立，分蘗2 - 3 ，蔥白部長約30公分，品質稍硬，栽培容易，耐寒性強，適合秋冬栽培，以食用蔥白為主。

4.大葉蔥：亦名西螺蔥、客人蔥，葉鞘長10公分，葉身長35公分，每株約有分蘗6～7支，葉鞘部粗大。

二、台灣地區蔥品種改良之研究

台灣有關蔥品種改良工作起步較晚，目前主要之育種方法為自地方品種中利用選種純化之步驟，選拔品質佳之品種。花蓮區農業改良場自1985年起進行宜蘭青蔥地方品種選拔，於1994年命名蘭陽1號，主要優點耐熱性較高，蔥白較長，平均約19.3公分，且產量高，每公頃達40公噸(14)。桃園區農業改良場亦自1986年起陸續蒐集本省各地方品種，予以純化栽培，選育晚抽苔性之品種，於1995年命名桃園3號(17)。花蓮區農業改良場亦自1991年起開始進行蔥雜交育種，目前進行雜交後代耐熱性選拔工作(15)。

三、台灣地區蔥品種改良未來工作重點

1.育成適於夏季栽培之品種：四季蔥品質優良，但耐熱性較差，不適夏季栽培，北蔥雖耐熱、耐濕，能在高溫之夏季生長，但葉鞘部細短，肉質較硬，品質稍差，亟待育成葉質柔軟，利用部較多，並具有濃郁香味及耐熱之品種。

2.育成抗病性蔥品種：本省青蔥主要發生之病害有銹病 (*Puccinia allii* (DC) Rud.)、紫斑病 (*Alternaria porri* (Ell.) Cif.) 及小粒菌核病 (*Sclerotinia allii* Sawada)影響品質與產量極大，其中銹病及紫斑病只在一定季節發生，而小粒菌核病則幾乎所有生育期均會感染，有日益嚴重趨勢，銹病、小粒菌核病在國外洋蔥均有篩選抗病品種，但就青蔥可食用部份而言，葉部外觀影響其商品價值甚大，對上述病害無耐性可言，因此亟需加強培育出具有抗病性及耐熱之青蔥品種。

3.育成晚抽苔之品種。

韭　　菜

韭菜學名為 *Allium tuberosum* Rottl. ex K. spreng. (表4) 為傳統性蔬菜，原產地為東亞或西伯利亞，耐寒耐暑性極強，北至西伯利亞極寒地可越冬；南至南洋印度，酷暑下發育繁茂。廣佈我國各省，栽培極盛，為一多年生作物，生長快速隨時可割取以供食用，如經軟化栽培之韭黃及花苔，更屬珍貴之菜餚。當本省夏季蔬菜缺乏時，韭菜仍能生長良好，可以補充夏季蔬菜之不足，而為一極有發展潛力之蔬菜。

一、品種[3,19]

1.大葉種：植株大形直立性，分蘗及抽苔皆少，生育強健，葉幅廣，葉鞘大而色白。質柔軟，品質優，豐產，葉韭用。

2.小葉種：植株矮小披散性，抽苔與分蘗性強，葉狹短，色較濃，葉鞘細而色微綠，葉及葉鞘質較硬。早生，品質中等，易於抽苔，可花葉兼用。

3.年花韭菜：植株矮小，直立性，分蘗旺盛，抽苔性特強而花莖長大。葉幅中等而較長，濃綠色，葉鞘大色呈微黃赤色。葉與葉鞘較硬，抽苔期長，周年都能抽苔。葉粗硬，食用質差，故不利用，所以專用於採嫩花莖。

4.年花二號：是年花種與呂宋種育成之花莖較大的優良品種，株形中等，具有周年抽苔性，尤其在低溫抽苔率比年花品種還高，花莖粗大，品質優良，收量較多，韭花專用。

二、台灣地區韭菜品種改良之研究

台灣有關韭菜品種改良之試驗進行的較少，八十年代初僅台中區農業改良場曾進行韭菜花純化工作，由300花用韭菜地方品系中，選出18優良品系，進行品系比較試驗[34]。近年台中區農業改良場因本省韭菜於多年栽培之後，其田間栽培之花用及葉用品種，外表性狀多數呈現不整齊，變異之品系頗多，已進行純化工作。另初步檢定花韭銹病田間罹病株率為14.8%～89.7%，品系間差異極大。

三、台灣地區韭菜品種改良未來工作重點

1.育成耐(抗)銹病韭菜品種:目前栽培品種對銹病都沒有抵抗性，當葉片有銹病時即失去商品價值或使植株生長勢減弱影響產量及品質，銹病是目前韭菜生產上之剋星。

2.舊有葉用韭菜因花期仍長，影響葉韭收穫之作業程序及收穫量，亟待育成不易抽苔之品種。

分　　蔥

分蔥學名為 *Allium cepa* L. *Aggregatum* group (表4)，別名冬蔥、凍蔥、科蔥、大官蔥及慈蔥，本省又有大頭蔥、紅蔥頭及珠蔥等別名。原產亞洲西部，可能在敘利亞[3,30]。分蔥是中國菜中廣泛使用的重要調香料，1996年本省栽培面積約一千公頃。臺灣之分蔥，栽培甚早，是由早期大陸移民帶入，以中南部沿海地區為主要產地。

一、品種

分蔥之優良品種及其特性：

1.珠蔥：植株矮小，葉細而長，葉色淡綠，分櫱力強，鱗球橢圓，外皮紫紅色，香味濃，球質堅硬，不易抽苔。

2.蕗蕎蔥：植株較大，葉粗而短，葉色濃綠，分櫱力強，鱗球紡錘狀，外皮淡紅色，香味差，球質鬆軟，較易抽苔。

二、台灣地區分蔥品種改良之研究

本省分蔥栽培向由農民自行留種，因多年栽培，所以品種混雜，故在品種內及品種間存有相當大的差異，可加以純化，系統分離選拔出分櫱力強、小鱗球肥大、耐病之優良品系，以供農民栽培。花蓮區農業改良場1991年曾進行品種純化的工作，但因花蓮地區秋冬季日照不足，且鱗莖肥大時常逢陰雨多，不適分蔥鱗莖之肥大，純化工作不易進行。

三、台灣地區分蔥品種改良未來工作重點

1.選擇分櫱力強小鱗球肥大之優良品種：分蔥單位產量不高，如單株分櫱力不強，則單位產量更低。因此育種時，必選每株分櫱數能超過10個子球以上者為合標準。若分櫱力特別多者，則更理想。

2.不早開花之品種：分蔥如以葉用為目的，栽培時不希望早抽苔，以提高品質。如以鱗球為目的，栽培時更不希望有早抽苔性。事實上，分蔥經多年無性繁殖，生理上之抽苔性早失效用，但環境合適時，仍能陸續抽苔，如早抽苔者，質量就差，應該淘汰。

結　　語

台灣蔥科蔬菜在引種、育種上均有相當的進步；如洋蔥1952年以前並無商業栽培，到1956年以後除供內銷外，尚有大量外銷以賺取外匯。自此以後台灣從進口洋蔥的國家變成外銷洋蔥的國家，這主要原因是農業機構自國外引進適當的洋蔥品種在國內推廣種植，而建立台灣洋蔥的輝煌時代。農業機構亦先後育成三個洋蔥品種台南1號、台南選2號及台農選3號，二個蔥品種蘭陽1號及桃園3號。近年來台灣雖然由於工資高漲，農村勞力的缺乏，以自東南亞及中國大陸之競爭影響，已造成洋蔥、蒜頭及分蔥等外銷產業之萎縮，故未來蔥科蔬菜產業之發展應以內銷市場為主。蔥科蔬菜是國人愛好的蔬菜及調味品，國內市場需要非常普遍且量大，故未來蔥科蔬菜仍有發展之餘地。目前國內亦有更多的試驗機構從事蔥科蔬菜品種改良如:

國立中興大學－分蔥

鳳山熱帶園藝試驗分所－洋蔥、大蒜

桃園區農業改良場－蔥

台中區農業改良場－韭菜

台南區農業改良場－大蒜

花蓮區農業改良場－蔥

未來在此等試驗機構之繼續努力下，將使台灣蔥科蔬菜得以繼續發展。

參考文獻

1. 王進生. 1980. 蔥. p.942-944. In:豐年社編輯. 台灣農家要覽上冊. 台北市.
2. 宋妤、張武男. 1993. 台灣洋蔥生長與栽培. p.87-106. In:台灣省農業試驗所編輯. 台灣蔬菜產業演進四十年專集. 台灣台中.
3. 李伯年. 1982. 蔥科蔬菜. p.373-420. In:李伯年編. 蔬菜育種與採種. 茂昌圖書. 台北市.
4. 李學勇. 1954. 蔥類育種法. 科學農業 2(9):12-20.
5. 林文傑. 1984. 洋蔥栽培起源之探討. 台灣農業 20(5):42-44.
6. 林昭雄. 1985. 熱帶地區大蒜健康種苗培育技術之研究. 蔬菜作物試驗研究彙報 3:93-107.
7. 林昭雄. 1986. 台灣蔥科蔬菜生產問題及研究方向. p.124-137. In:台灣省政府農林廳編輯. 蔬菜研究及生產改進研討會專刊. 台灣南投.
8. 林昭雄. 1993. 四十年來之台灣大蒜產業. p.107-138. In:台灣省農業試驗所編輯. 台灣蔬菜產業演進四十年專集. 台灣台中.
9. 林昭雄、曾紹均. 1983. 大蒜無病毒種苗繁殖. 蔬菜作物試驗研究彙報 2:65-69.
10. 林昭雄、曾紹均. 1986. 大蒜無病毒種苗繁殖. 蔬菜作物試驗研究彙報 4:87-92.
11. 林昭雄、曾紹均. 1988. 大蒜無病毒種蒜繁殖. 蔬菜作物試驗研究彙報 5:188-192.
12. 林昭雄、曾紹均、洪彩蔘. 1982. 大蒜無毒種苗培育技術之研究. 蔬菜作物試驗研究彙報 1:86-95.
13. 林俊義. 1982. 台灣大蒜毒素病之研究. 台灣農業 18(3):41-46.
14. 花蓮區農業改良場. 1994. 青蔥新品系「85-C-1-3-1」申請登記命名審查資料. 台灣花蓮.
15. 花蓮區農業改良場八十五年度年報. 1997. 青蔥雜交育種 p.62. 花蓮區農業改良場編印. 台灣花蓮.
16. 郁宗雄. 1963. 洋蔥栽培和處理. 鳳山熱帶試驗分所編印. 台灣鳳山.
17. 桃園區農業改良場. 1995. 青蔥新品系「桃園選 74-C-1」申請登記命名審查資料. 台灣桃園.

18. 許苑培、李秀夫. 1986. 夏季栽培大蒜品種選拔試驗. 蔬菜作物試驗研究彙報 4:113-116.

19. 郭俊毅. 1980. 韭菜. p.945-947. 豐年社編輯. 台灣農家要覽上冊. 台北市.

20. 陳培昌. 1985. 台灣洋蔥的栽培、育種、繁殖之研究. p.289-300. In:桃園區農業改良場編輯. 夏季蔬菜生產改進研討會專輯. 台灣桃園.

21. 張明聰. 1978. 洋蔥. p.111-121. In:豐年社編輯. 莖菜栽培. 台北市.

22. 張明聰、施銀行、余合. 1974. 洋蔥新品種之育成. 台南區農業改良場編印. 台灣台南.

23. 張義宏. 撫今追昔概論洋蔥產業. 啟農雜誌 53:8-17.

24. 曾紹均. 1985. 洋蔥外銷用新品種地方試作. 蔬菜作物試驗研究彙報 3:209-213.

25. 曾紹均. 1985. 大蒜抗（病）毒素病品種之篩選. 蔬菜作物試驗研究彙報 3:218-226.

26. 曾紹均. 1988. 洋蔥品種改良試驗. p.259-270. In:台東區農業改良場編印. 蔬菜品種改良研討會專輯. 台灣台東.

27. 曾紹均、洪彩蓡. 1982. 大蒜品種改良試驗. 蔬菜作物試驗研究彙報 1:96-99.

28. 黄 涵. 1978. 蔥. p.45-51. In:豐年社編輯. 莖菜栽培. 台北市.

29. 黄 涵. 1978. 大蒜. p.91-101. In:豐年社編輯. 莖菜栽培. 台北市.

30. 黄 涵. 1978. 分蔥. p.106-110. In:豐年社編輯. 莖菜栽培. 台北市.

31. 鳳山熱帶園藝試驗分所. 1984. 洋蔥. 園藝作物新品種申請登記命名資料. 台灣鳳山.

32. 潘文祥、何倩婷. 1992. 台灣大蒜品種特性調查及栽培技術改進. p.180-182. 八十年度蔬菜品種改良及栽培技術改進研究計畫工作成果報告.

33. 諶靜吾. 1993. 蔬菜產業四十年來之回顧. p.1-16. In:台灣農業試驗所編輯. 台灣蔬菜產業演進四十年專集. 台灣台中.

34. 鍾維榮、廖梅桂. 1982. 韭菜花純化試驗. 蔬菜作物試驗研究彙報 1:151-152.

附件一　大蔥的育種方案設計

（資料引自張啟沛 1996 大蔥 摘自周長久主編，現代作物育種學，科學技術文獻出版社 北京）

起　源

A. De Candolle （1882）認為，俄國學者確曾在西伯利亞至阿爾泰山一帶以及貝加爾湖，吉爾吉斯等處發現有野生之蔥，但一些學者認為蔥的真正野生種尚未發現。

在公元前 681 年，中國就有蔥作為栽培作物的報導。據《中國植物志》記載，分布在中國的蔥組植物有六個種：藍苞蔥（*A. atrosanguineum* Schrenk），北蔥（*A. schoenorpasum* L.），硬皮蔥（*A. sedebourianum* Roem. et schult）野蔥（*A. chrysanthum* Regel），阿爾泰蔥（*A. altaicum* Pall）和蔥（*A. fistulosum* L.）。其中阿爾泰蔥與栽培蔥很相似。阿爾泰蔥與大蔥的染色體核型基本一致，而且 47 個性狀的相似度很高，初步推測蔥可能是阿爾泰蔥在人工培養條件下進化的產物。

育種目標

一、優質

優質標準因用途而異。生食品種應是粗纖維含量低，蔥白比高，含糖量高而香辛油含量較低。熟食品種應是乾物質含量高，糖、香辛油含量和油/糖比都高。提取香辛油原料品種要求香辛油含量高。

二、抗病

大蔥主要病害是病毒病、紫斑病和銹病。

三、豐產

習慣兼食蔥白和蔥葉的地區要求生物學產量高；習慣食用蔥白的地區要求蔥白重超過全株重的 50 %以上。蔥白重由假莖的長、粗度和緊實度構成，假莖增粗較增長易於改進。粗假莖的管狀葉較堅硬的抗風，是穩產的重要性狀。豐產品種都應具有抗病性和廣泛適應性。

四、整齊度高及耐藏

品種的高整齊度是豐產性的構成因素，也關係到大蔥商品品級。選育自交系雜種品種是提高整齊度的有效途徑。

主要性狀鑒定

一、物候期：重點調查抽苔、開花、種子成熟期。

二、豐產性：除收穫後測定生物學和經濟產量及單株重外，調查葉長達最終長度 1/2 以上的單株宿存功能葉數。

三、分櫱性：分營養、生殖生長時期調查田間分櫱株率及單株最多分櫱數。收穫後調查蔥白中部橫切面的分櫱性。

四、植株高度：成株收穫後，量蔥白基部至全株最高度的長度。

五、蔥白性狀： 1.蔥白長：從最上出葉孔處橫切，量此處至蔥白基部的長度，計算蔥白占植株高度比；2.蔥白粗：量蔥白中部最大橫徑，雞腿型的加測最粗部橫徑並以其與中部橫徑平均數表示；3.蔥白重：稱量蔥白及全株重，計數蔥白占全株重的百分比。

六、肉質鱗片數：蔥白中部橫切面，增厚的肉質鱗片數。

七、品質： 1.碳水化合物含量：早期世代用手持折光儀分別測定葉身、蔥白的可溶性固形物含量或口嘗評定，後期世代分析測定各種糖的含量； 2.香辛油含量：早期世代感官鑒定，後期世代用己烷浸提蒸餾測定；3.風味：口嘗鑒定

八、耐藏性：葉身風乾萎蔫的大蔥稱重後，在 0 ℃左右下冬貯，分期稱重，計算損耗率。

九、抗病性：重點調查病毒病、紫斑病、銹病的發病率、病情指數及產量損失率。

十、雄性不育性:開花期田間調查有無雄性不育株及不育株率、不育度、不育類型。

種株的株齡與縮短成株育種周期

一、種株的株齡

大蔥的生育周期長短主要決定於播種至開花的日數，稱之為“種株株齡”，分為成株和半成株兩類。

1.成株種株　就山東中部而言，有兩個播種期： (1) 秋播— 又稱秋苗。一般於 9 月末至 10 月初播種，2～3 月越冬，翌年 6 月下旬定植，11 月上中旬收獲商品株，其花芽形成，園藝性狀充分表現，即為成齡株，又稱成株種株簡稱成株。此期約經 400 天。成株經考種、選種定植後，4 月上中旬開始開花，6 月上旬種子成熟約 610 餘天，即以成株進行品種選育需兩年完成一個育種周期。 (2) 春播又稱春苗。一般於 3 月上旬播種，7 月初定植，11 月上中旬收獲成株，其產量低於秋播的花芽也已形成，園藝性狀充分表現。此期約經 245 天，雖較秋苗長成的成株縮短 150 餘天，仍要兩年完成一個周期。

2.半成株種株　仍就山東中部而言，6 月下旬至 9 月上旬都可播種，此是夏播，又稱夏苗翌年可以收到種子，但顯蕾、開花、種子成熟期較成齡種株的滯後數日。在此播種期內越晚播，翌年的花數和產種量越少。由於形成花芽的株齡短，植株小故稱“半成株種株”，園藝性狀表現不完全，可以一年完成一個育種周期。為了縮短育種周期，力爭提早夏播，使園藝性狀表現完全些。

二、縮短成株育種周期

仍就山東中部而言，11 月上旬收獲成株，經室內鑒定選擇後，12 月上旬定植於溫室，1 月下旬開花，3 月下旬可收完種子，種子清選登記後，3 月底至 4 月初露地播種，覆薄膜增溫，促進出苗和幼苗生長，7 月上旬以前定植，加強田間管理，11 月上旬收穫成株，經室內鑒定選擇後，再於 12 月上旬定植溫室。此法的關鍵是利用溫室定植種株，在溫室內開花並進行雜交、自交等工作，種子成熟後抓緊春播，促進幼苗和植株生長，11 月上旬長成春苗成株，實現成株一年一個周期，即保證了鑒定選擇的可靠性，又縮短了育種周期。因為開花期是冬季在通風窗覆網紗的溫室中渡過的，溫室內無傳粉昆蟲、無風，基本上不會發生非目的性交配，可以省去套袋防雜工作，也可減少花球折斷的損失。

育 種 程 序

一、固定品種的育種程序

年序世代	生殖生長時期	營養生長時期
1 P		秋播雜交親本品種各 200 株
2 P		1.6 月上旬定植上年播種的秋苗。 2.生長期及收獲後鑒定性狀，入選各品種典型株各 25 個。 3.12 月初在溫室中定植入選的成株。
3 F_1	1.根據生殖生長表現淘汰劣株 2.1 月下旬按計劃人工雜交，每組合 4~5 株。 3.分組合收取雜交種子並登記。	1.3 月底露地播種各雜交組合（F_1）覆薄膜。 2.7 月初定植 F_1，每組合各＞200 株。 3.10 ～ 11 月鑒定成株性狀，淘汰 50 %不良組合，各組合入選 10 個優株，12 月初定植在溫室中。
4 F_2	1.同第 3 年“1”的工作。 2.選 8-10 個可育株，套袋自交。 3.同第 3 年“3”的工作。	1.同第 3 年“1”的要求，播種 F_2。 2.7 月初定植 F_2，每個系＞100 株。 3.同第 3 年“3”的工作，入選 30 %優系，各入選 10 個優株，12 月初定植溫室中。
5 F_3	同上年“1”、“2”、“3”的工作。	1.同上年“1”的要求，播種 F_3。 2.同上年“2”的工作，每系 50 株，設對照。 3.同上年“3”的工作，入選達到育種目標要求的優系。 4.未達到育種目標要求的優系繼續單

年序世代	生殖生長時期	營養生長時期
		株選擇。
6 F_4	1.開花前為達到要求的優系覆蓋100目網紗，淘汰劣株。 2.開花後進行系內株間人工授粉。 3.種子成熟後，按系混收種子，成為品系。 4.繼續其他系統的自交選育。	1.同上年“1”的要求，播種 F_4，每個品系苗床面積4～5m^2。 2.7月底定植，進行品系比較試驗，設對照，隨機區組排列，3次重複，每小區＞200株。 3.重點鑒定產量、抗病性、整齊度等，入選優株＞200個。
7 F_5-F_6	在溫室或露地擴繁各品系種子。	進行第二年的品系比較試驗。

經兩年品系比較試驗入選的優良品系，申請省（市）級區域試驗、生產試驗和品種審定。

二、雜交品種的育種程序

早在40年代，美國就以在與大蔥同科同屬的洋蔥上利用雄性不育系育成雜種品種用於商業生產。

大蔥是花小，一果少子植物，只能利用其異花授粉繁殖特性，在隔離區自由雜交製種。它又是雌雄同體植物，自由雜交製種時會因本系統內的交配而降低雜交率。大蔥廣泛存在雄性不育性，可以選育、利用雄性不育系製種。

利用雄性不育系組配雜種品種，需要A系—雄性不育系，作為雜種品種的母本系，B系—雄性不育保持系，C系—自交系，作為雜種品種的父本系。雜種品種的選育程序應建立A、B、C系選育和雜交組合測配體系。

1.雄性不育系和保持系選育

(1)雄性不育性形態特徵

花藥綠黃色或黃褐色，手摸花球無花粉，迎光透視花藥半透明。花藥有3種類型：（a）常藥型（I型），與可育株的花藥相似而略小；（b）瘦藥型（II型），花藥瘦小；（c）短雄蕊型（III型），雄蕊很短，花被不張開。

(2)同型保持系選育程序

大蔥不同品種的自然群體中普遍存在雄性不育株，易於選出同型保持系，其選育程序見下表。

年序世代	生殖生長時期	營養生長時期
1　P, S_0		1.收集擬作雜交親本品種若干，各種植 200 株，各選性狀優良單株＞ 50 株，定植於溫室。
2　T, S_1	1.2 月始花後檢查發現、選 II 、 III 型不育株 6 株，掛牌，摘除已開放花。最好套袋。 2.從同品種內選花粉量充足可育株 6 株，摘除已開放花，套袋 3 ～ 4 日後，給不育株成對授粉（測交—T ），取花粉時可育株發生自交（ S_1 ），每天成對授粉一次。 3.種子成熟後分別收取 T 和 S_1 種子。	1.3 月底分別播種 T 、 S_1 種子，覆薄膜。 2.7 月初定植 T 系和 S_1 系各 50 株。 3.10 ～ 11 月田間、室內鑒定成株，淘汰 30 ％劣系。 4.12 月初入選 T 系和 S_1 系鄰近定於溫室，每系＞ 40 株。
3　BC_1, S_2	1.2 月份分別調查 T 系和 S_1 系的不育、可育株率。選留不育株率高的 T 系、可育株率高的 S_1 系。 2.入選系中各選 6 株分別回交、自交。 3.分株收取回交組合（ BC_1 ）及輪回父本種子（ S_2 ）	1.3 月底分別播種 BC_1 、 S_2 種子覆膜。 2.同上“2”定植 BC_1 系和 S_2 系。 3.同上年“ 3 ”的工作，著重對 S_2 系的園藝性狀選擇。 4.同上年“ 4 ”的工作。
4　BC_2, S_3	1.同上年“ 1 ”的工作。若發現不育、可育株率分別達到 100 ％的 BC_1 、 S_2 系，除各選 6 株回交、自交外，用 S_2 系混合花粉給 BC_1 系授粉。 2.分別收取 BC_2 （ A 系）、 S_3 （ B 系）種子。 3.對不育、可育株率高的 BC_1 、 S_2 系繼續回交、自交選擇。	1.A 系和 B 系分別於 3 月底露地播種 $3m^2$ ，覆薄膜。 2.7 月初各定植＞ 500 株，10 ～ 11 月鑒定淘汰園藝性狀不良成株。 3.11 月中旬按 A_2 ： B_1 行比定植露地隔離區。 4.BC_2 和 S_3 的工作同上年。
5　BC_3, S_4	1.5 月檢查 A 、 B 系育性，若不、可育株率分別＞ 95 則 A 、 B 系成立。分別按育性去雜。任 B 系給 A 系自由授粉。分系混收種子。 2.若初選 A 、 B 系的不、可育株率＜ 95 ％，用上年 6 對 BC_1 、 S_2 繁殖的 BC_3 、 S_4 繼續回交、自交。 3.繼續上年的“ 1 ”、“ 2 ”、“ 3 ”的工作。	同上年“ 1 ～ 4 ”的工作。

從上表看出，雄性不育系及其相應保持系至少要 5 年 5 代方可育成。

二、自交系選育

大蔥自交系的作用和來源—

1.大蔥自交系在品種選育中的意義有二：(1)複純複優已經退化的優良品種。從已退化的品種中選擇典型優株，自交選擇育成若干園藝性狀相似的自交系，相互雜交，混收混繁種子；(2)作為雜種品種的親本。自交系雖然衰退，但基因型純合性很高，通過自交系配組的雜種可以恢復大蔥的雜合性優勢，還獲得了園藝性狀的整齊性。

2.大蔥自交系的來源有二：(1)不同品種育成的同型保持系，也是經多代自交選育而成的自交系；(2)專門選育的自交系，其選育程序見下表。

年序世代	生殖生長時期	營養生長時期
1　S_0		1.種植擬作配測雜種的親本，每品種＞200株。 2.10～11月田間、室內鑒定成株，各品種入選10株，定植於溫室內。
2　S_1	1.2月份每品種選5個可育株人工自交，最好套袋。 2.種子成熟後分株收種，登記。	1.3月底露地播種 S_1 種子，覆薄膜。 2.7月初定植 S_1，各＞100株。 3.10～11月田間、室內鑒定成株，入選50％ S_1 系各10株，定植於溫室內。
3　S_2	同上年工作。	1.S_2 的播種定植工作同上年“1”、“2”。 2.10～11月田間、室內鑒定成株，入選20％ S_2 系各10株，定植於溫室內。
4　S_3	同上年工作。	1.S_3 的播種定植工作同上年。 2.如在 S_3 中發現園藝性狀優良、主要性狀整齊的株系即為自交系，去雜後定植於溫室或露地隔離區。 3.其它株系擇優繼續自交選擇。

年序	世代	生殖生長時期	營養生長時期
5	S_4	1.為 S_3 自交系去雜（雜劣株、不育株）。定植於溫室者人工輔助系內交配；定植於露地者拔除 2km 半徑內的大蔥異品種及分蔥種株。 2.自交系種子成熟後混收，保存 20 %作保存的原種。 3.繼續其它株系自交選育。	1.3 月或 6 月露地播種自交系，擴繁。 2.繼續其它株系的鑒定、選擇。

三、雜交組合的配測

一般是依據育種目標和育種經驗，選擇有希望出現優良組合的自交系與雄性不育系配對後，測出優良雜交組合進行品系比較試驗。

為了加速雜種品種的育種過程，可從 S_0 或 S_1 開始與雄性不育系配測，以後集中力量從有希望的品種或早代株系中進行自交系選育。

如要全面了解自交系和雄性不育系的配合力，用“格子”方法配測。

豆類蔬菜育種

楊偉正、蕭吉雄
台灣省農業試驗所

概　　論

豆科植物(Leguminosae)約有487屬10,782種，其中可供人類作為蔬菜食用的豆類蔬菜有豌豆屬 (*Pisum*) 的豌豆，菜豆屬 (*Phaseolus*) 的菜豆、萊豆、紅花菜豆(多花菜豆)，豇豆屬 (*Vigna*) 的豇豆，大豆屬 (*Glycine*) 的毛豆，蠶豆屬 (*Vicia*) 的蠶豆，扁豆屬 (*Dolichos*) 的鵲豆(扁豆)，四稜豆屬 (*Psophocarpus*) 的翼豆(四稜豆)，刀豆屬 (*Canavalia*) 的刀豆和藜豆屬 (*Stizolobium*) 的藜豆等9屬11種，各屬間的主要性狀特徵請參閱表 1.。在台灣僅有菜豆、豌豆、豇豆等三種豆類蔬菜具有較高經濟栽培價值。

豆類蔬菜為一年生或二年生的草本植物，生育期間大約在60-200天，種子較其他作物為大，無胚乳，子葉發達，貯藏有大量的營養物質，種子不具休眠性，只要環境適宜，種子即可發芽，由於種子下胚軸的延伸能力不同，可分為子葉出土和子葉不出土二種，子葉出土的豆類蔬菜有菜豆、豇豆、毛豆、萊豆、鵲豆等；子葉不出土的豆類蔬菜有豌豆、蠶豆等。子葉出土的豆類蔬菜，播種時，覆土不宜太深，以免影響到種子發芽，豆類蔬菜根系木栓化程度較高，再生力較弱，種植時，以直播栽培較為適合。

一般豆類蔬菜的子葉不行光合作用，僅將子葉內所貯存的養份供幼苗生長發育，一旦貯存的養份被幼苗消耗完畢後，便自行脫落。豆類蔬菜的子葉出土後，第 1 對本葉是單葉對生，其他為復葉，豌豆和蠶豆為互生羽狀複葉，其他為三出複葉。除蠶豆、藜豆外，其他依莖蔓的生育習性可區分為蔓性種、半蔓性種和矮性種，即為有限生長型和無限生長型兩種，有限生長型的植株在生長數節後，生長點行花芽分化，莖上各節長出側枝，側枝生長幾節後，生長點也行花芽分化，植株由於不斷地長出側枝和行花芽分化，致使植株矮生而直立，即所謂的矮生種；無限生長型的植株其頂端為葉芽，可以不斷地進行生長，在生長初期，節間較短植株可以直立，隨後植株主莖生長逐漸加快，節間伸長，成為蔓性種。豆類蔬菜的花為蝶形花冠，由旗瓣、翼瓣和龍骨瓣組成，開花前龍骨瓣包裹著雌、雄花蕊，雄蕊10枚，為二體雄蕊， 9枚之花絲聯合， 1枚分離，雌蕊1枚。豆類蔬菜多為自花授粉作物，天然雜交機率不高，其中以蠶豆異花雜交率較高，有高達32.9%的異花授粉率，菜豆依品種的不同，異花授粉率約在0.2-10%之間。豆類蔬菜花芽分化數很多，開花數次之，能結成果莢者較少，落蕾、落花的主要原因係受到氣候環境或栽培技術所影響；減少落蕾、落莢是增加豆類蔬菜產量的主要途徑。

豆類蔬菜對溫度的要求，可分為耐熱、喜溫和半耐寒三種類型。豌豆、蠶豆等屬半耐寒性種類，豇豆、鵲豆等屬耐熱性種類，菜豆、萊豆、毛豆等屬喜溫性種類。豆類蔬菜對日照的要求，除豌豆、蠶豆屬於長日照作物外，其他豆類如豇豆、菜豆、萊豆、毛豆等都屬於短日照作物，目前許多豆類栽培品種都表現為中日性。豆類蔬菜根群發達，入土較深，分佈範圍較廣，耐旱較大，根系有不同形狀和數量的根瘤菌共生，有固氮作用，根瘤菌在土壤中活動會分泌出一些有機酸，致使土壤酸性化。豆類蔬菜有共同的病蟲害，忌連作，養分的需求量以氮肥較少，磷肥和鉀肥較多。

表 1. 豆類蔬菜各屬間的主要特徵檢索表

A.植株具有卷鬚之葉，小葉 3 片以上
 B.萼片葉狀，花柱內彎處生毛……………………………………………豌豆屬 *Pisum*
 BB.萼片非葉狀，花柱頂端有一簇或一圈毛……………………………蠶豆屬 *Vicia*
AA. 植株不具有卷鬚之葉，小葉 3 片
 B.柱頭有毛
  C.龍骨瓣彎曲成直角………………………………………………扁豆屬 *Dolichos*
  CC.龍骨瓣呈螺旋狀卷曲………………………………………菜豆屬 *Phaseolus*
  CCC.龍骨瓣彎曲，但不呈直角或卷曲
   D.柱頭歪斜，莢果無毛，根部無塊狀根…………………………豇豆屬 *Vigna*
   DD.柱頭頂生，莢果有硬毛，根部有塊狀根……………四稜豆屬 *Psophocarpus*
 BB.柱頭無毛
  C.花著生於葉腋的總狀花序，莢果寬闊光滑無毛……………刀豆屬 *Canavalia*
  CC.花著生於節上的總狀花序，莢果短小有毛
   D.植株矮小直立，小葉卵形…………………………………………大豆屬 *Glycine*
   DD.植株高大蔓性，小葉菱卵形…………………………………藜豆屬 *Stizolobium*

起源、分佈及植物性狀

一、菜豆

菜豆學名為 *Phaseolus vulgaris* L.，菜豆屬一年生草本植物，染色體 2n=2x=22，起源於中南美洲，16 世紀初傳入歐洲，16-17 世紀由西班牙人和葡萄牙人傳入非洲、印度和中國。目前，菜豆已普遍分佈於世界各地，栽培面積僅次於大豆，在台灣菜豆栽培面積約 2,000 公頃。菜豆根系發達，主根深入土中達 80 公分左右，側根分佈直徑有 70 公分左右，主根和側根上都能形成根瘤，植株生長習性可區分為矮生種和蔓生種，莖蔓具有左旋纏繞特性，子葉出土，一般為綠色，也有紫紅色或其他顏色，子葉為營養器官，子葉開展後即長出一對初生本葉，以

後所長出的本葉為三出複葉。花為蝶形花，花器最外層是 2 個萼片，內部由 5 個花瓣組成，花的最上部為旗瓣，左右兩邊為翼瓣，中下部是龍骨瓣。花蕊開放前，龍骨瓣包裹著雌、雄蕊，呈螺旋狀卷曲一圈以上，雄蕊共有 10 枚，其中 9 枚基部聯結在一起呈筒狀形，另一枚獨立分開，這種現象稱二體雄蕊，雌蕊先端扭轉呈環狀，花柱長，柱頭密生茸毛，自花授粉作物，天然雜交率低。果實為莢果，對生，每一花序上可結莢 2-8 個，豆莢形狀、大小、顏色、長短等性狀依品種的不同而有很大的差別。種子由種皮、子葉和胚組成，不具胚乳，種子千粒重在 200-700 公克之間，菜豆屬短日性植物，但依品種的不同而有很大的差別，短日型品種在短日照條件下，花芽分化早，在長日照條件下，莖葉生長旺盛，矮生品種變成蔓生，花芽分化少，延遲開花結莢率低。目前多數栽培品種屬中間型，對日照長短要求不嚴格。菜豆類型依植株型態別區分，可分為矮性，半蔓性和蔓性；依食用別區分，可分為莢用類型和粒用類型；依組織成分別區分，可分為硬莢類型和軟莢類型；依豆莢形狀和顏色別區分，可分為花莢品種群，圓棍莢品種群，肉豆角品種群，扁條莢品種群，黃莢品種群，和紫莢品種群。

表 2. 重要豆類蔬菜之中名、英名、學名、染色體數目、食用部份和適應栽培區

中名	英名	學名	染色體數	食用部份	適應栽培區
菜豆	Snap bean	*Phaseolus vulgaris* L.	22	嫩莢、種子	溫帶、熱帶
萊豆	Lima bean	*Phaseolus limensis* Macf.	22	嫩豆粒	溫暖季節
紅花菜豆	Runner bean	*Phaseolus coccineus* L.	22	嫩豆莢	溫帶
豌豆	Pea	*Pisum sativum* L.	14	嫩豆莢、嫩豆粒、嫩梢	冷涼地區
豇豆	Asparagus bean, cow pea	*Vigna unguiculata* Walp.	22	嫩豆莢	亞熱帶
毛豆	Vegetable soy bean	*Glycine max* Merr.	40	嫩豆莢仁	熱帶至北緯 52 度
鵲豆	Hyacinth bean, lablab bean	*Dolichos lablab* L.	14	嫩豆莢	乾旱季節
蠶豆	Broad bean, horse bean	*Vicia faba* L.	12	嫩豆粒	溫帶冷涼地區
翼豆	Winged bean	*Psophocarpus tetragonolobus* DC.	18	嫩豆莢	熱帶亞洲
刀豆	Sword bean	*Canavalia gladista* DC.	22,44,46	嫩莢、種子	熱帶
黎豆	Yokohama bean	*Stizolobium deeringianum* Bort.		嫩莢、種子	熱帶

二、豌豆

豌豆學名為 *Pisum sativum* L.，豌豆屬一年或二年生草本植物，染色體 2n=2x=14，原產於埃塞俄比亞、地中海沿岸和亞洲中部，也有學者認為豌豆是起原於高加索南部至伊郎。豌豆由原產地向東傳入印度北部，經中亞細亞到中國、日本，新大陸發現後，再傳入美國。豌豆分佈於中國大陸各地，台灣主要產地在彰化縣一帶，栽培面積約 2,000 公頃，豌豆的嫩梢、嫩莢和豆仁均有食用價值。豌豆為直根系，側根少，直根深入土中 1-2 公尺，根系吸收力強，能吸收難溶性的化合物，根瘤菌多集中在土層 1 公尺內的主根上；莖近四方形，中空，種子發芽時，下胚軸不伸長，子葉留在土中，上胚軸伸長使幼苗出土，葉為偶數羽狀複葉，互生，由 1-3 對小葉組成，頂端 1-2 對小葉退化，變成卷鬚，互相纏繞攀緣，葉面有腊質或白粉，葉柄基部附生一對托葉，花單生或對生於葉腋處，總狀花序，蝶形花，兩體雄蕊，自花授粉作物，在炎熱乾旱的氣候環境下，會有 10%左右的雜交率。果莢扁平，長橢圓形，莢果有軟硬之分，軟莢果的內果皮柔軟可食，果莢老熟後，果皮乾縮果莢不會開裂；硬莢果的內果皮有厚膜組織，果莢不能食用，必需撕除果皮食其豆仁，硬莢果老熟後果莢會開裂。豌豆屬半耐寒性植物，不耐熱，開花期適溫為 15-18 ℃，莢果成熟期的適溫為 18-20 ℃，溫度高於 26 ℃時，雖能促進早熟，但品質降低，產量會減少，豌豆生育期短，植株發育快速，整個生長過程可分為兩個階段，即營養生長和生殖生長，豌豆為長日照作物，但有些品種在長日照或短日照下都能開花，豌豆開花結莢期間需要較多的水份，乾旱會造成減產。此外，根部分泌物會影響次作根瘤菌的活動和根系的生長，因此，豌豆忌連作。豌豆類型依植株型態別區分，可分為半蔓性和蔓性；依食用別區分，可分為豆莢用類型和豆仁用類型；依食用部位別區分，可分為嫩莢種，嫩豆種，嫩梢(豆苗)種和豆芽(嬰)種；依豆莢顏色別區分，可分為黃綠色和綠色。

三、豇豆

豇豆學名為 *Vigna unguiculata* W. ssp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.，豇豆屬一年生草本植物，染色體 2n=2x=22，原產非洲東北部和亞洲中南部，包括中國、東南亞和印度等地，Yerdcourt 氏認為 *Vigna unguiculata* 有 5 個亞種，其中 spp. *dikinditiana* 是非洲熱帶草原區和埃塞俄比亞的野生種。spp. *mensensis* 為非洲森林區野生種。普通豇豆(spp. *unguiculata* W., syn. *V. sinensis*)是由 spp. *dekinditana* 在非洲馴化而成。約在公元前 1000 傳入亞洲，並演化出角豆(spp. *cylindrica*, syn. *V. catjang*)和長豇豆(spp. *sesquipedalis*, syn. *V. sinensis* var. *sesquipedalis*)，這兩個亞種從印度傳到中國，再傳入歐洲。目前台灣栽培面積約 1,600 公頃，主要栽培地區為屏東縣、高雄縣和彰化縣。豇豆主根發達，長達 80 公分左右，根的再生能力弱，根瘤菌稀少，固氮能力較差，莖蔓綠色，有些品種在莖蔓的附近有紫紅色的花斑紋，莖節上長葉和花序，依植株生長習性可分為矮性、半蔓性和蔓性三種類型，矮性種莖蔓直立，花芽頂生；半蔓性種和蔓性種莖蔓生長旺盛，花芽側生，呈左旋性攀緣。種子發芽後子葉出土，初生子葉二枚，單葉對生，以後為三出複葉。花屬蝶形花，

總狀花序，每序花有 4-6 朵，近似對生，自花授粉作物，花從夜間開始開放，日出前盛開，午時以後關閉，雌蕊授粉、受精後，子房開始伸長，至 5 公分時，花冠即脫落，子房逐漸發育成果莢，莢果成對，種子在貯藏條件適宜下，可保存 5 年，豇豆種子易受豆象危害，因此在保存豇豆種子時必須注意防患豆象為害，可進行燻蒸或冷藏等處理。豇豆屬耐熱性蔬菜，生育適溫 25-35 ℃，對日照長短反應可分為二類，一類對日照長短要求不嚴格，在長日照或短日照下都可正常生長，一般長豇豆多屬這一類型，另一類對日照長短要求比較嚴格，適合在短日照季節栽培，如在長日照下栽培，則莖蔓徒長，延遲開花和結莢，豇豆耐旱性較強，土壤水份過多，不利根系和根瘤菌活動，容易引起根部病害和落花落莢。豇豆類型依植株型態別區分，可分為矮性，半蔓性和蔓性；依果莢形狀別區分，可分為圓形，扁形和盤曲；依果莢長短別區分，可分為長條(莢長 60 公分以上)，中長條(莢長 30-60 公分)，短條(莢長 30 公分以下)；依豆莢顏色別區分，可分為綠莢品種群，淺綠莢品種群，綠白莢品種群，紫莢品種群，花皮莢品種群，和盤曲條莢品種群。

遺 傳 資 源

一、菜豆

從美國農業部在 FAO 刊物所發表的世界豆科作物收集目錄中得知，目前世界各國種原庫所收集到的 *Phaseolus* 種原總計有 44,504 個品種(表 3.)，其中有些品種可能會重複登錄在各國種原庫裡。 1976 年國際熱帶農業中心(CIAT)開始進行 *Phaseolus* 種原的收集並進行各個種原的適應性、抗病性、抗蟲性、抗旱性、耐酸性、固氮能力和耐低磷酸性狀的研究及評估，以便提供菜豆育種家作為進行各種菜豆育種材料，截至 1985 年共收集 36,154 個品種，其中屬菜豆(*phaseolus vulgaris*)及其原始野生種共有 31,983 種約佔 88.5%，屬萊豆(*P. limensis*)或稱利馬豆(*P. lunatas*)及其原始野生種共有 2,626 種約佔 7.3%，屬多花菜豆(*P. coccineus*)及其原始野生種共有 1,274 種約佔 3.5%，屬尖葉菜豆(*P. acutifolius*)及其原始野生種共有 184 種約佔 0.5%和未栽培的野生種 87 種約佔 0.2%(表 4.)。這些種原中已有 55%的品種完成繁殖，性狀調查和與世界各地交換。

二、豇豆

1970 年 International Institute of Tropical Agricultural 開始進行豇豆種原收集，評估和利用，當時所收集的種原包括有地方栽培種、野生種、自交品系和育種材料等共有 7,200 個種原，經過繁殖、遺失和精減後，共得 5,000 個種原供作豇豆品種改良育種親本， 1975 年 IITA 仍繼續進行豇豆種原的收集(包括栽培種和野生種)、繁殖和建立種原資料庫，同時也進行豇豆抗病性和抗蟲性篩選，截至 1989 年，IITA 共收集豇豆栽培種種原 15,200 種和豇豆野生種種原 923 種，表 5.為所收集到的各個栽培種種原之地理分佈情形。 Marechal 等人(1978)將 *Vigna* 屬分為 7 個亞屬含 81 種， *Vigna* 亞屬為最大的一屬，包括目前栽培最多的栽培種如 *Vigna*

sinesis(英名 cowpea ，中名豇豆)，*Vigna unguiculata*(英名 asparagus bean ，中名長豇豆)，*Vigna catjang*(英名 catjang ，中名角豆)。

表 3. 世界各地種原庫所收集 *Phaseolus* 種原資料

Name of germplasm bank	Number of accessions
Centro Internacional de Agricultura Tropical (C.I.A.T), Cali, Colombia	14,567
United States Department of Agriculture (U.S.D.A), Pullman, USA	7,948
United State Department of Agriculture (U.S.D.A), Fort Collins, USA	4,944
University of Cambridge, U.K.	4,939
National Vegetable Research Station (N.V.R.S.), Wellesbourne, U.K	4,011
Thike Horticultural Station, Kenya	2,801
Research Centre for Agrobotany I.P.P.O., Tapioszele, Hungary	1,738
Centro Agronomico Tropical de Investigacion Ensenanza (C.A.T.I.E), Turrialba, Costa Rica	1,422
Regional Agricultural Research Institute, Izmir, Turkey	898
Institut fur Pflanzenbau und Pflanzenzuchtung Braunsweing, Federal Republic of Germany	557
Institute of plant Introduction and Genetic Resources, Sadovo, Bulgaria	370
Institute for fodder Crops (F.C.P.I.), Larissa, Greece	289

引自 Genetic Resources of *Phaseolus* Beans, 1988 。

表 4. 國際熱帶農業中心(CIAT)保存菜豆種原資料

Species	Number of accessions
Phaseolus vulgaris	31,619
P. vulgaris wild ancestors	364
Phaseolus lunatus	2,563
P. lunatus wild ancestors	63
Phaseolus coccineus subsp. *coccineus*	792
Phaseolus coccineus subsp. *polyanthus*	415
P. coccineus wild ancestors	67
Phaseolus acutifolius	134
P. acutifolius wild ancestors	50
Wild noncultivated	87
Total	36,154

引自 Genetic Resources of *Phaseolus* Beans, 1988 。

表 5. IITA 所收集到的豇豆栽培品種其地理分佈情形

Region	No. of accessions
Central and Western Africa	6,946
Eastern and Southern Africa	2,517
North Africa	348
Asia	2456
America	1,256
Europe	401
Australia	23
Unknown	623
Ex-mix	630
Total	15,200

引自 Cowpea genetic Resources, 1990 。

抗病種原及其遺傳基因

豆類蔬菜的抗病性是一種可遺傳的特性，具有此特性作物就可減輕或減少受到病源菌所感染，菜豆、豌豆、豇豆等豆類蔬菜之抗病種源和抗病性遺傳基因，分別列表如下：

表 6.　菜豆之抗病種原及其遺傳基因

Diseases	Pathogens	Sources of resistance	Genetic
Bean rust	*Uromyces appendiculatus*	PR-190, 8BP-3, Resisto, BPSR-130	one or more dominant independent or epistatic gene
Bean common mosaic virus	virus	Pinto UI 114, Great northern 31, IVT 7214	Monogenic dominant (*I*), recessive gene (*bc*-u, *bc*-1, *bc*-2, *bc*-3)
Curly top virus	virus	Apollo, Goldcrop, Blue Mountain, Wondergreen	-----
Bean golden mosaic virus	virus	A 427, A 429, DOR 303, DOR 364, DOR 476, Porrillo	-----
Bacterial blight	*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*	Tara, Jules, A 8-40, XAN 159, XR-235-1-1, PI 207262	Single dominant gene
Halo blight	*Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*	PI 150414, V 4604, Red Mexican U I 3, Red Mexican U.I 35, G 2829, G 11766, G 12592	one or two complementary dominant or recessive genes
Anthracnose	*Colletotrichum lindemuthianum*	8BP-3, A 322, A 252, G 4032, Mexico 222, Cornell 49-242	Are gene
Angular leaf spot	*Phaeoisariopsis griseola*	Alabama No. 1, Small White	dominant or recessive major gene
Fusarium root rot	*Fusarium solani* Wr. f. sp. *Phaseoli*	PI 203958	-----
White mold	*Sclerotimia sclerotiorum*	PI 271999, BTS 16, Florida 72, PI 821860	-----
Bacterial spot	*Xanthomonas flaccumfaciensi*	PI 207262, PI 313343 PI 282086	-----
Root rot	Physium	RRR-36, RRR-46	-----

表 7. 豌豆之抗病種原及其遺傳基因

Diseases	Pathogens	Sources of resistance	Genetic
Fusarium root rot	*Fusarium solani* f. sp. *pisi*	PI 140165, PI 183910 PI 194006, PI 210257 PI 223385	*Fw*, *Fnw* 基因所控制
Fusarium root rot	*Fusarium oxysporumi*	Dia, Nike, K7589, R4006, Helia	-----
Brown root of peas	*Fusarium solani* f. sp. *pisi*	-----	Single gene Resistance was dominant
Damping-off	*Pythium ultimum*	Accessopms 140165 183910, 19404, Minnesota 494 A II	-----
Powdery mildew	*Erysiphe pisi*	Continental, JP501, VP 7906 PH1-1, HWVP 1	*er*(single gene recessive) *er* 2
Rust	*Uromyces fabae*	JP Batri Brown 3, JP Batri Brown 4	Single dominant gene
Wilt	*Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*. race 1	New Era, LMR 20, Kala Nagni, JP 501, LMR 110.	*Fw*
	race 2	-----	*Fnw*
Downy mildew	*Peronosopra pisi*	Dark Skin perfection	Single dominant
Ascochyta blight	*Ascochyta pisi*	Kinnauri, K 1632, K 3055, K 5072, K 5117	Duplicate factor One dominant gene
Pea root rot	*Aphanomyces euteiches*	PI 166159, PI 167250 PI 169604, PI 180693 PI 180868 Minnesota 494	Single dominant gene or linked polygenes with *le* or *pl*
Bacterial brown spot of pea	*Pseudomonas syringae* pv. *pisi*	-----	Comples system
Bacterial blight	*Pseudomonas syringae* pv. *pisi*	Onward and 3080 resistance to both race	Single dominant gene(race 1)
Bean yellow mosaic virus	virus	Bonneville Wisconsin Perfection	Single recessive (*mo*)
Top yellow virus	virus	-----	Monogenic recessive
Pea leaf-roll virus	virus	Rando, Novette, Starlett	Single recessive
Pea streak virus	virus	-----	Single recessive (*mo*)
Pea mosaic virus	virus	Perfection type	Single recessive (*pmv*)
Bean virus 2	virus	New Era, Wisconsin, Perfection	Single recessive

Pea seed-borne mosaic virus	virus	Psb, Mv-Pam, Psbmv-P4, X 78122, X 78123, X 78124, X 78125, X 78126, X 78128	A recessive factor (sbm4)

表 8. 豇豆之抗病種原及其遺傳基因

Diseases	Pathogens	Sources of resistance	Genetic
Anthranose	*Collectotrichum lindemuthianum*	New Era, VITA 3, Prima	Single dominant gene
Scab	*Sphaceloma* spp.	VITA 4	-----
Powdery mildew	*Erysiple polygoni*	Tanzania	Single recessive gene
Cercospora leaf spot	*Pseudocercospora cruenta*	New Era, Lalita, CR-17-1-34, Ala. 963.8	Two separate genes, Single dominant gene
Phytophthora stem rot	*Phytophthora vignae*	Tvu 3861, K_4 235	-----
Web Blight	*Rhizoctonia solani*	VITA 1 (partial resistance)	-----
Ascochyta Blight	*Ascochyta phaseolorum*	Flori cream, V-44 (partial resistance)	-----
Bacterial Blight (Bacterial canker)	*Xanthomonas campestris* pv. *vigmicola*	Iron, P 309, P 426, P 910	A single dominant or a single recessive gene
Fusarium wilt	*Fusarium oxysporum* f. sp. *vasonfectum*	Iron	A single dominant gene
Cucumber mosaic virus	virus	PI 186465	A single dominant gene
Cowpea chlorotic mottle mosaic virus	virus	PI 255811	A single recessive gene
Cowpea severe mosaic virus	virus	Macaibo, FP 7733-2	-----
Cowpea aphidborne mosaic virus	virus	TVu 2480, TVu 410	A single recessive gene or one partially dominant gene
Blackeye cowpea mosiac virus	virus	TVu 2480, Nong-fa 79	A single dominant gene
Cowpea yellow mosaic virus	virus	Alabunch, Arlington	A single dominant gene
Southern Bean mosaic virus	virus	Early Pinkeye, Iron, PI 186465	A single dominant gene

抗蟲種原

豆類蔬菜抗蟲性表現及穩定係受作物基因型、害蟲基因型和昆蟲所在環境交互作用影響。豆類蔬菜的抗蟲育種係利用作物之防衛性進行抗蟲性品種改良。進行抗蟲育種需了解作物抗蟲遺傳性、抗蟲品種篩選及抗蟲種原等，茲將菜豆、豌豆、豇豆等豆類蔬菜抗蟲種原，詳列於后：

表 9. 菜豆之抗蟲種原

Common name	Scientific name	Sources of resistance
Leafhoppers	*Empoasa kraemeri*	EMP 124, EMP125
Bean pod weevil	*Apion godmani*, *Apion aurichalceum*	Negro 150(G 5767), Pinto 168, Amarillo 154 (G 3982), Amarillo 160, Mexico 1290 (G11506), De Celaya (G 13614), G3578, G8142
Bean weevil	*Acanthoscelides obtectus*	G 11051, G 12858, G 12952
Mexican bean weevil	*Zabrotes subfasciatus*	G 11051, G 12858, G 12952

表 10. 豌豆之抗蟲種原

Common name	Scientific name	Sources of resistance
Leaf miner	*Melanagromyza conavistae*	LMR 4, LMR 10, LMR 20
Pea aphid	*Acyrthosiphon pisum*	
Pea weevil	*Sitona lineatus*	PI 196027, PI 244241, PI 244254, PI 244263, PI 273036, PI 280612,

表 11. 豇豆之抗蟲種原

Common name	Scientific name	Sources of resistance
Leafhoppers	*Empoasa* spp	TVu 59, TVu 123, TVu 1190, VITA 3
Thrips	*Megalurothrips sjostedti*	TVu 1509, TVu 946, ER-1, ER-7
Cowpea storage weevil	*Callosobruchus maculatus*	TVu 2017, TVu 11952, TVu 11953
Aphids	*Acyrthosiphon gossypii*	TVu 408, TVu 410, Ife Brown

重要性狀遺傳基因及其所控制的園藝性狀

豆類蔬菜的園藝性狀可經由遺傳基因傳遞到子代，因此，進行作物品種改良，首先必需了解控制性狀的遺傳行為，如該性狀係少數對主效基因控制或多數對微效基因控制，細胞質控制或細胞核控制，量的遺傳或質的遺傳，顯性基因或隱性基因等均需詳加了解，依其各種控制基因的形式，採用適宜方法，進行品種改良。

表 12. 菜豆重要性狀遺傳基因及其所控制的重要園藝性狀

基因符號	園藝性狀
A	產生黃褐色的基本顏色基因。
ace	產生發亮的果實。
Ane	種皮上產生模糊的斑紋。
Are	能給予炭疽病的四個生理小種的抗性。
av	和 *sv* 給予對菜豆嵌紋病一個隱性的抗病性。
B	種皮上有黑色的紋。
B1, *B2*	種子寬度的複數基因。
bc-u	對菜豆嵌紋病毒具非特性抗性。
$bc\text{-}1^{1,2}$	等位基因 1 和 2 為對菜豆嵌紋病品系 1 的抗性。
$bc\text{-}2^{1,2}$	等位基因 1 和 2 為對菜豆嵌紋病品系 2 的抗性。
bc-3	能給予菜豆嵌紋病品系 3 的抗性。
bl	與專用基因成紅色種皮。
Br	與 PR^K 成褐色種皮。
br	與 PR^K 成綠色種皮，與 Pr^K 成粉紅色種皮。
Cm	產生雜色外種皮。
C^{rho}	產生有長斜方形斑點的外種皮。
C^{st}	產生條紋的外種皮。
Ca	與顏色基因成圍繞種臍的條紋。
Can	與顏色基因可產生一帶有白色的外種皮或鯨油白色和一個黃褐色的種臍環。
Cm	產生有黑色穩定樣式的外種皮。
Cor	有黑色冠環繞種臍。
Cor, *cor*	有淡色的副花冠和白色的花。
D_1	在 *D-2* 存在時，添加控制在菜豆主莖節數的變異。同時，添加控制開花的日數。
D_2	在 *D-1* 存在時，添加控制在菜豆主莖節數的變異。同時，添加控制開花的日數。
Da	直的莢果。

Db	和 *Da* 為等效異位基因，為直的莢果。
dt-1[a,b]	在 *dt-2* 存在時，控制日長溫度對光周期反應的敏感度。
dt-2[a,b]	在 *dt-1* 存在時，控制日長溫度對光周期反應的敏感度。
dw_1, dw_2	重複基因造成植株矮化。
F	具炭疽病的 *F* 品系的抗性。
fd	長日下延遲開花的反應。
Fop 1	具 *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* 巴西生理小種的抗性。
Fop 2	具 *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* 美國生理小種的抗性。
gas	造成雄和雌的不稔性。
Gri	兩個基本顏色基因之一。
gri	和 *p* 為灰白色外種皮，沒有種臍環。
in	有限型生長。
In-ms	抑制 *Ms* 的作用。
L	抑制 *t* 在外種皮部份著色的效應。
pa	葉淺綠色。
pc	莢果為持久綠色。
pH	為開花時間對高溫和長日的反應。
r, r_1	合在一起對根瘤線蟲具抗性。
sil	葉銀色和在高強度光下使植株嚴重的矮化。
St	莢果多纖維。
Sy	與 *av* 和 *iv* 具嵌紋病抗性。
Sw	與 *sw-2* 使幼苗萎凋。
Sw-2	與 *Sw* 使幼苗萎凋。
T	單色種皮和有色花，纏繞習性對 *t* 非纏繞習性。
Ts	纖維的形成依靠溫度而定。
Ur	具菜豆銹病抗性。
v	白色花。

表 13. 豌豆重要性狀遺傳基因及其所控制的重要園藝性狀

基因符號	園藝性狀
a	缺花青素。
af	小葉片呈捲鬚。
alb	白苗，植株缺葉綠素。
au	幼苗金黃色。

b	粉紅色花。
Bt	果莢尾端鈍形。
cock	稔性降低。
Com	影響莢果曲度。
com	種子腹部扁平。
cri	葉，托葉，花，莢果摺疊和捲緊。
cry	與 *la, le* 影響節間長度和株高。
d	葉腋綠色。
En	具嵌紋病抗性。
er-1	具豌豆白粉病抗性。
F	種皮上有紫斑。
fa	與 *fas* 成莖帶化。
fas	與 *fa* 成莖帶化。
fl	葉片或托葉無斑點或小斑點。
fn	與 *fna* 決定花序上花數。
fna	與 *fn* 決定花序上花數。
Fnw	抗萎凋病生理小種 2 。
fr	與 *fru* 決定基部側枝數。
fru	與 *fr* 決定基部側枝數。
Fw	抗萎凋病生理小種 1 。
i	子葉綠色，*I* 為子葉黃色。
It	增加種子寬度 25%。
K	翼瓣正常，*k* 翼瓣成龍骨狀。
la	與 *cry, le* 影響節間長度和株高。
le	與 *cry, la* 影響節間長度和株高。
M	與 *A, Z, Mp* 使種皮棕色大理色斑紋。
Pl	與 *A, Ar, B* 為種皮黑色。
Pu	與 *A, Pur* 紫色莢果。
Pur	與 *A, Pu* 紫色莢果。
r	子葉扭曲。
r_b	子葉扭曲。
ram	增加側枝數。
S	種子和莢果容易剝離，*s* 種子和莢果粘連。
sbm	抗豌豆種子傳播性嵌紋病毒。
U	與 *A, z* 為種皮紫色。
um	小葉邊緣波浪狀。
wa	莢果，托葉，小葉無臘質。
wb	莢果無臘質。
wel	植株缺臘質。
yp	黃色花粉。
Z	種皮顏色基因，*A+Z* 紅色，*z* 為無色。

表 14.　豇豆重要性狀遺傳基因及其所控制的重要園藝性狀

基因符號	園藝性狀
bcm	具黑眼豇豆嵌紋病毒抗性。
Cls-1, *Cls*-2	具煤黴病抗性。
E_{11}, E_{12}	早開花顯性基因。
Ef-1,*Ef-2*	早開花顯性基因。
Gnp	綠色莢果。
Ms ms	為雄不稔性。
mvs	具 CMV 病毒抗性。
N	種皮淡黃色，*M* 栗色，*N*+*M* 呈褐色。
p^g	果莢為紫莢綠色中縫。
P^b	種子黑色。
P^p	莢果紫色。
p^t	果莢為綠莢紫尖。
p^v	果莢為綠莢紫色中縫。
R	種皮色澤基因，*R* 紅色，*rr* 白色，*R*+*BB* 黑色，*R*+*Bb* 斑點。
RDL	深紫色花。
RDl	深紫色花。
RdL	淺藍色花。
rdl	白色花。
Vi-1,*Vi-2*,*Vi-3*	互補基因，控制植株生長習性。
Ymr	具抗 CPMV 病毒。

授 粉 技 術

豆類蔬菜為天然自花授粉作物，無自交不親和性，花器構造較為特殊，是由旗瓣、翼瓣和龍骨瓣所組成的蝶形花，龍骨瓣將雌蕊和雄蕊緊緊包裹起來，在花瓣尚未開放前 1-2 日，即進行自花授粉，因此在進行雜交授粉時，應在雄蕊未成熟前，先用鑷子撥開花瓣，使花藥與柱頭露出，在不傷及花柱的情況下，將花藥夾掉，然後將花粉輕輕的塗抹在柱頭上，完成雜交授粉工作。豆類蔬菜的花器構造大致相同，花朵大小卻有差別，雜交授粉技術也略有差異，茲將菜豆，豌豆，豇豆等蔬菜雜交技術和方法分別簡述於后：

一、菜豆雜交授粉方法

菜豆雜交前除雄工作相當困難，主要是菜豆具有閉花授粉的習性，即雄蕊先成熟，且在花瓣未展開時即先行授粉，因此，需要在蕾期進行除雄工作，然而雌

蕊與雄蕊均彎曲呈螺旋狀緊裹在一起，除雄時很容易傷及花柱，致使結莢率低落，此外，菜豆自花結莢率亦低，估計一般結莢數僅佔開花數的25-35%左右。為提高雜交授粉成功率，授粉時間、環境和花蕾著生部位選擇相當重要，一般授粉時間以上午和四周環境較為潮濕為宜，花蕾著生部位以主蔓12-14節花序上第一、二個花蕾來授粉雜交，成功率較大。菜豆花柱在花蕾期，約開花前 3 天，即具有接受花粉的能力，雜交授粉時，可將開花前1-2天的健壯花蕾除雄，然後以當天開花的雄蕊花粉來授粉，雜交成功的花蕾，子房迅速膨大，3-4日後即形成豆莢，菜豆授粉方法可分為蕾期除雄後授粉和蕾期不除雄授粉兩種，蕾期除雄後授粉即將旗瓣、翼瓣撥開，將龍骨瓣前端花瓣撕掉，使內部的花藥和柱頭曝露出來，用鑷子把每一枚花藥去掉，然後將所要的花粉輕輕的摩擦到柱頭上，授粉完畢，盡量將旗瓣、翼瓣恢復原狀，把所採用的父母本分別記載在紙牌掛在已授粉的花蕾上。Okonkwo和Clayberg在1984年發表的包繞法(The Wrapping Method)，此法之母本花蕾除雄與一般除雄相同，僅在授粉時有少許差別，其法是摘父本剛開的花，小心除去龍骨瓣露出雄蕊和雌蕊，拔去花柱與柱頭，並用鑷子將雄蕊和子房分開，放在已除去雄花的柱頭上並包繞在柱頭，確定花藥與柱頭直接接觸，如此雄蕊不會移動，甚至於在結莢後花絲仍繞於莢尖，此法雖較費時費工，但雜交成功率幾乎高達 100%，較傳統方法為優。蕾期不除雄授粉有拉出柱頭法和花粉放入法兩種，拉出柱頭授粉法為用鑷子將母本花蕾的旗瓣、翼瓣剝開，將龍骨瓣前端花瓣結合處打開一個小洞口，再用鑷子向下方輕拉兩片翼瓣，使柱頭從龍骨瓣的前端伸出，隨即用父本帶有花粉的毛刷狀柱頭塗抹母本柱頭完成授粉工作。花粉放入法，為用鑷子打開旗瓣、翼瓣和將龍骨瓣的前端打開，把父本攜帶有花粉的柱頭直接從龍骨瓣前端小洞口放入，輕輕搖動，使母本柱頭授粉。

二、豌豆雜交授粉方法

豌豆花朵較大，雜交授粉成功率高，選擇植株生長勢強壯，第二分枝處的花朵來進行雜交授粉，可獲得較高的成功率和飽滿的種子，豌豆雜交授粉時間雖沒嚴格限制，但以清晨氣溫較低，濕度較大，著莢率較高。母本花蕾在一天中任何時間均可除雄，但以授粉前除雄較好，因為除雄後立刻授粉，柱頭上有黏液，授粉、受精效果較好。如果在溫室內進行授粉，有些育種家認為可在除雄後隔一天再授粉，這時候花蕾較大，授粉效果較好。豌豆雜交授粉都採用花蕾除雄後授粉，授粉步驟可參閱菜豆，豌豆受精後8-9小時花粉管即伸入子房，子房會慢慢膨大，經40天後，種子成熟即可採收。

三、豇豆雜交授粉方法

豇豆屬為蝶形花，總狀花序，每一花序有花 4-6 朵，近成對生。豇豆花序粗壯，花朵較菜豆或豌豆為大，花器構造簡單，去雄容易，且不易落花，雄蕊先熟，雜交授粉時需要在花蕾期進行除雄，花粉在強光高溫下仍有活力，可在當天除雄後立授粉，授粉步驟可參閱菜豆，授粉後四周保持較高的濕度，可增加授粉成功率，一般豇豆雜交授粉成功率在20-50%之間。

豆類蔬菜為自交作物，雖具有雜種優勢，但生產一代雜交種子頗為費時，且增加種子生產成本，商業栽培所採用的品種均為固定種，一般在 40-100 公尺左右隔離區進行採種，盡量避免人為或機械混雜即可。雜交授粉只是應用在品種一般園藝性狀和病蟲害抗性改良。

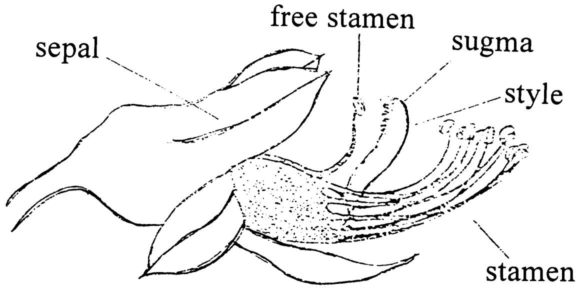


圖 1. 豆類蔬菜花器構造(取自 Carol Deppe)

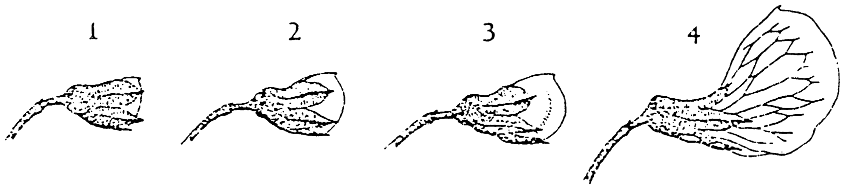


圖 2. 豌豆花蕊發育過程(取自 Carol Deppe)
(蕾 2.為適當除雄授粉期，蕾 1.或蕾 3.
視品種或氣候環境亦可當作適當除
雄授粉期，蕾 4.花蕾已自花授粉)

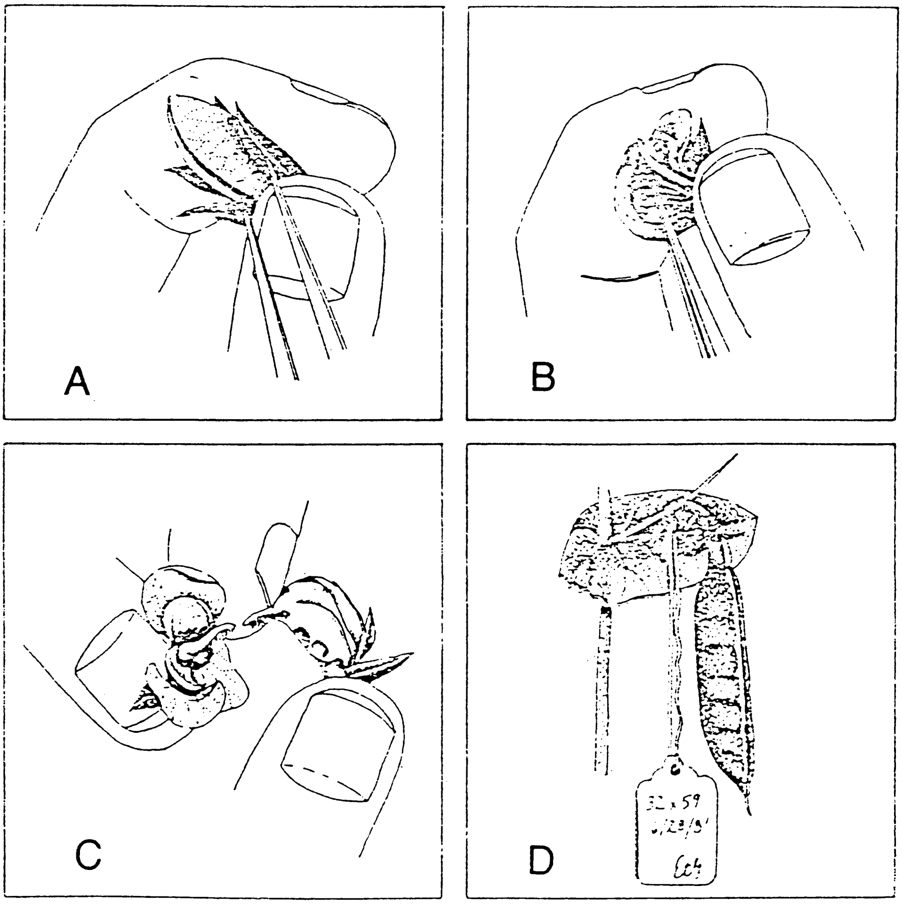


圖 3. 豌豆雜交授粉－ A.撥開龍骨瓣， B.除雄， C.授粉， D.著莢
(取自 Earl T. Gritton)

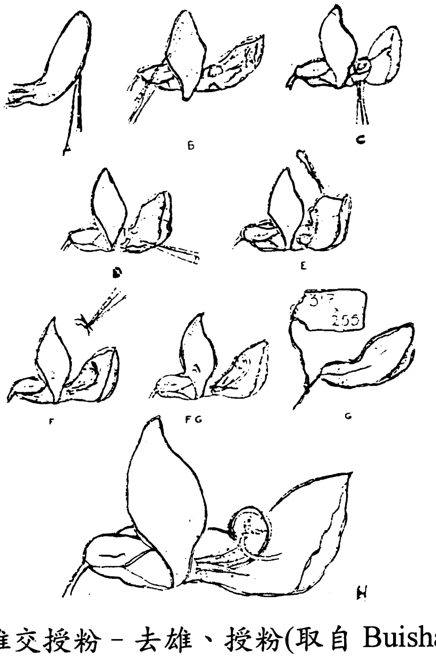


圖 4.菜豆雜交授粉－去雄、授粉(取自 Buishand T. J.)

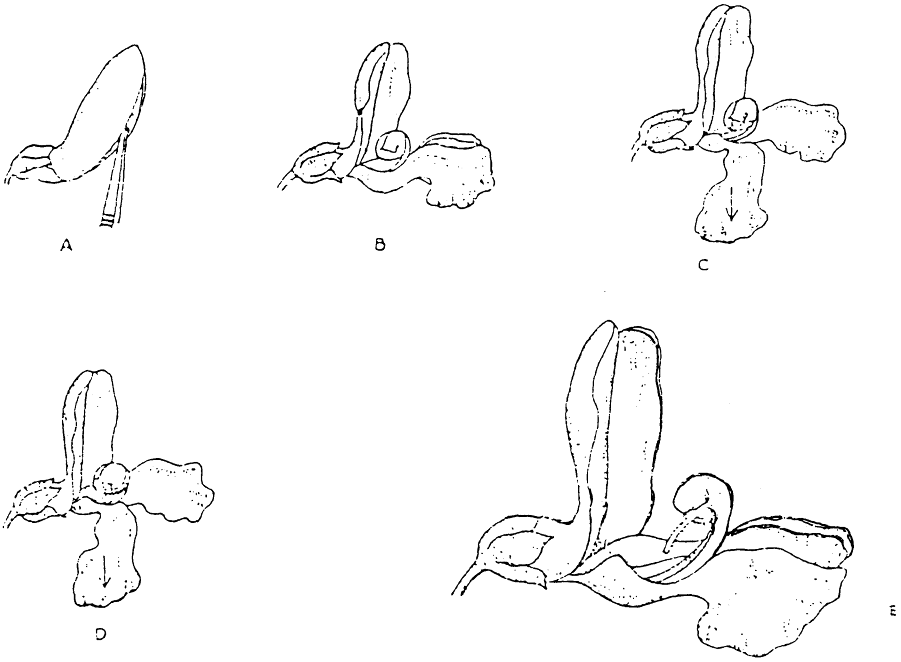


圖 5.菜豆花蕾不去雄授粉雜交法(取自 Buishand T. J.)

育種目標

一、豐產性育種

豐產為豆類蔬菜重要育種目標之一，產量主要是受數量遺傳基因所控制，總產量的高低，除受到單位面積所種植的株數以及在該密度下單株平均產量的影響外，還受到株型、花序數、花朵數、結莢數、莢果長短、抗病蟲性及其他環境因素如光合速率，適應性等因子控制。因此，豐產性育種需考慮到上述各種特性，並將各種特性導入以達到豐產的目的。

二、抗病性育種

為害豆類蔬菜病害種類相當多，嚴重影響產量和品質，豆類蔬菜有病毒病、銹病、白粉病、萎凋病、根腐病、菌核病、褐斑病等共同病害，這些病害使用藥劑防治，效果不彰。採用抗病育種，將抗病基因轉移至栽培品種中，育成抗單一病害或多種病害新品種，以減輕病菌為害。在進行抗病育種前，首先要篩選抗病種原以及了解由幾對基因控制抗病性，病源菌的種類及其生理小種等等。

三、抗蟲性育種

為害豆類蔬菜的害蟲種類有薊馬、潛蠅、蚜蟲、紅蜘蛛、豆椽等，這些害蟲不僅為害幼株或成株的莖葉，同時也為害嫩莢和老熟的種子，一般採用噴灑殺蟲劑來防治蟲害的發生，而少有進行抗蟲育種的研究，殺蟲劑經使用一段時間後，昆蟲就會產生抗藥性，致使藥劑防治無效。目前已有少數抗蟲品種被鑑定，可利用這些抗蟲種原來進行抗蟲品種的選育。

四、耐逆境育種

逆境育種包括有高溫或低溫，短暫的乾旱或浸水，酸性或鹼性土壤，開花期的高溫或低溫，氮肥的欠缺，以及空氣污染等等。一個優良品種在各種逆境下需具有較好的適應性，例如幼苗的生育健壯，成株的收獲量就會增加，因此幼苗能否忍受早春低溫期，就成為一個很重要的性狀。低溫(15℃)會使花序和種仁減少，畸形莢果增加，高溫(35℃)會使花粉失去活力，影響產量和品質。

五、改良品質育種

豆類蔬菜莢果品質優良與否主要是受到莢果質地和失水快慢所影響，優良品種需要：1.莢果果皮不能太厚和太硬，在莢果成熟時，果皮仍能保持幼嫩透徹，2.莢果筋絲不發達，食用時，不需撕掉筋絲，3.莢果纖維含量少，4.莢果經急速冷凍或殺菁，果莢或豆仁不會變色，5.莢果失水量慢。這些性質，都可經由育種來加以改良。

六、高蛋白質育種

蛋白質為豆類蔬菜主要成份，不同種類或品種其蛋白質含量有很大的差異，Woolfe and Hamblin 從 336 個菜豆品種中得知 Bontia，PKh 58-7-2，PKh 69-38-1 和 PKh58-66-82 等品種其蛋白質含量高達 20-34%，豌豆亦有同樣的情形，K 1554，Bonneville，EC 21857 等品種其蛋白質含量高達 28.4%，蠶豆種皮顏色與蛋白質含量多寡有關，黑色種皮蛋白質含量最高，約在 25.4-30.0%，黃色種皮和棕色種皮之蛋白質含量，分別在 23.8-26.9%和 23.0-27.7%。育種家指出蛋白質的遺傳性較為狹窄，係受微效基因和修飾基因所控制，高產與高蛋白質呈負相關，採用譜系法和單籽後裔法等育種方法可改良豆類蛋白質含量。

育 種 方 法

豆類蔬菜屬自花授粉作物，其育種方法可依據自交作物育種行為加以規範，由於豆類蔬菜人工去雄授粉技術較為困難，雜交一朵花只能獲得少許幾粒種子，田間種植時，需要種子量卻很多，豆類蔬菜雖具有雜種優勢，但卻難以發揮。豆類蔬菜育種方法有 1.引種，2.選種，3.雜交育種和 4.回交育種等，育種家可依其育種目的，選擇適合的育種方法來進行育種工作，所選擇的方向可分兩方面，一種是控制各種性狀遺傳，另一種是育種材料的評估和利用。茲將豆類蔬菜種育種方法和步驟，分別詳列出來，以供作為豆類蔬菜育種時參考。

一、引種

1.收集、引進

自行由國內收集或由國外引進之品種(系)，首先應將其名稱、來源、重要園藝性狀、抗病性和抗蟲性等特性詳加記載後，進行田間品種觀察和馴化試驗。

2.觀察試驗

選擇適當季節，進行品種觀察試驗，每一品種按照順序分別種植一區或一行，以本地慣用品種作為對照品種，生育期間詳細調查各品種間的園藝性狀、適應性及病蟲害發生情形。純度一致的品種，可採用混合留種，純度不一的品種，需要單株選拔自交留種。第二年，繼續進行品種觀察和評估，每品種種一小區，每小區至少種植 20 株，採用順序排列，重複 2-4 次，調查品種特性、抗病蟲性及產量估算，優良品種可選作雜交育種之親本或進行品種(系)比較試驗。

二、選種

1.純系選種

從地方栽培田或試驗田中，選拔具有優良特性的單株，進行自交留種並成為一自交品系，進行品系觀察試驗，調查各品系園藝性狀，抗感病蟲性、評估產量和品質後，選擇優良品系，參加品種(系)比較試驗。

2.混合選種

混合選種主要應用於品種保存和繁殖，栽培品種改良和純化。其方法是在栽培田間選出最優良的單株，其數目可由數十株到數百株，分別留種。次年，由各單株選出一定的種子量混合種植於田區，生育期間，進行優良單株選拔，淘汰異型株或感病株，入選的優良單株，可混合採收種子，作為純正優良種子的來源。每次都將種子混合種植在田區，選拔優良單株後再留種，重複這一步驟直到品種表現型趨向一致時，即可參加品種(系)比較試驗。

三、雜交育種

豆類蔬菜花器構造比較特殊，在田間進行人工除雄和採粉，結英率不高，可將植株種植在栽培缽，放置在溫網室內進行人工除雄和授粉，以提高雜交成功率。一般雜交育種步驟有：

1.親本選擇

雜交育種是結合分別在不同品種的優良遺傳基因於一體，育成新品種之園藝性狀是否優異，視親本的選擇是否適當，所以在親本的選擇上需特別留意，應選擇園藝性狀良好且合乎育種目標的品種(系)作為親本，並依據親本開花時間的早晚，調整種植時間以調節花期，方便雜交授粉。

2.雜交授粉

豆類蔬菜花柱在花蕾期，約開花前 2-3 天，就有接受花粉的能力，所以雜交授粉可在清晨 10 點前，選擇開花前 2-3 天的健壯花蕾進行除雄，除雄後可以當天開花的雄花花粉來授粉，亦可於下午 3 點以後除雄，翌日清晨 10 點前授粉，無論是除雄後立刻授粉或隔日授粉，都要在除雄和授粉後盡量將旗瓣、翼瓣恢復原狀，以提高著英率。將父母本名稱或代號分別記載在紙牌上，掛在已授粉的花蕾上作為識別標記，雜交成功的花蕾，子房迅速膨

大，3-4 日後即形成豆莢。每一雜交組合所獲得的種子分別種植在栽培缽，放置溫網室內，播種雜交組合時，應同時播種二親品種作為對照，以辨別雜種的真偽。

3.後裔分離及選拔

豆類雜交後裔處理方法，與其他自交作物相似，常依其育種目的和選拔效果而定。一般常用的方法有譜系法、混合法及單籽後裔法。

(1)譜系法

譜系法為豆類蔬菜育種計畫中常用的方法，藉由雜交後代的選拔，可獲得理想的新品種。譜系法對於遺傳力較弱的性狀較為有效，多因子所控制的遺傳性狀或量的性狀育種，因子型的斷定，較為困難，採用譜系法育種，由於組合後代種植株數多，需要較多的人力投入，育種成本較高。

A.F_1 世代：由雜交所得到的 F_1 種子，分別種植在栽培缽內，播種 F_1 種子的同時也播種二親品種作為對照，以辨別是否為真的雜交種，拔除偽雜交株後，將已確認的雜交植株，詳細調查及記載園藝性狀，並進行單株套袋，以確保自花受精，各單株的種子分別採收，成一系統。

B.F_2 世代：由 F_1 植株所獲得的種子，各自成立為一組，種植成一區，種植株數視控制基因數而異，通常以 250-1,000 株為宜，並種植栽培品種，作為對照。生育期間詳細調查和比較各單株園藝性狀，選拔合乎育種目標的單株自行留種。

C.F_3 世代：以 F_2 世代入選之單株作為一系統，每一系統種植 20-40 株，在適當的行數插入二親及對照品種，生育期間詳細調查各系統之園藝性狀，並注意各系統之性狀是否一致，選拔合乎育種目標的優良系統，再由各優良系統中，選拔優良單株，每一優良單株分別留種。

D.F_4 及以後各世代：以 F_3 世代入選之單株作為一系統，每一系統種植 20-40 株，詳細調查各系統之園藝性狀，按育種目標選拔優良系統，再由各優良系統中，選拔優良單株，入選之優良單株分別採種。F_5 世代繼續重複 F_4 之步驟進行選拔，若系統內各株間的園藝性狀趨向一致時，即可將各株系混合留種，進行品系比較試驗；若品系內各園藝性狀尚有分離現象，則需繼續進行單株選拔，直至各性狀固定下來，方可進行品系比較試驗。

(2)混合法

混合法育種效率較低，近年來較不為豆類蔬菜作物育種所採用，混合法對遺傳力較高的性狀效果較高，遺傳力較低效果較差，但可藉由增加雜交數目和加大族群來補償，混合法主要優點是育種成本較低。

A.F_1 世代：與譜系法同。

B.F_2 世代：自 F_2 世代起採用放任栽培，單株種植，不加以選拔，各組合種植株數至少 250 株，逢機留種，混合採收。

C.F_3-F_5 世代：單株種植，不加以選拔，各組合種植株數至少 500 株，逢機留種，混合採收。

D.F_6 世代：各組合約有 80%達到同質結合個體，從 F_6 世代起進行單株選拔，各植株生育期間，詳細調查各系統之園藝性狀，並依育種目標，進行優良單株選拔，選拔率約在 10%，各單株分別留種成一株系。

E.F_7 及以後各世代：以 F_6 世代入選之單株作為一系統，每一系統種植 20-40 株，詳細調查各系統之園藝性狀，按育種目標選拔優良系統，再由各優良系統中，選拔優良單株，入選之優良單株分別採種。F_8 世代繼續重複 F_7 之步驗進行優良單株選拔，選拔期間如有足夠種子，即可進行品系比較試驗或區域試驗。

(3)單籽後裔法

單籽後裔法為每一世代取一單株中的一粒種子播種下一代，各世代不進行選拔，至 F_4-F_6 世代時，當各性狀達到同質結合時，進行優良單株選拔。單籽後裔法具有節省世代繁殖時間、人力、物力和降低等位基因的損失率等優點，故多為豆類蔬菜育種家所採用。

A.F_1 世代：與譜系法同。

B.F_2 世代：由 F_1 世代所得到的 F_2 世代植株，每一組合種植株數在 250-500 株，各植株僅收獲一個莢果。

C.F_3-F_4 世代：由 F_2-F_3 世代每一植株所得到莢果中，各取 2-3 粒種子播種，最後僅留一植株收獲一個莢果。

D.F_5 及以後世代：F_5 世代收集每一基因型之種子，分別種植直至各性狀達到純結合體為止，即可進行品系比較試驗。

四、回交育種

1.親本選定及雜交

親本選擇通常以適合當地栽培的優良品種作為輪迴親，該品種僅缺乏某一種有用的經濟性狀，選擇能彌補輪迴親所缺的性狀為非輪迴親，進行雜交。

2.回交及選拔

(1)種植雜交後所獲得的 F_1 和輪迴親、非輪迴親，以確定 F_1 植株的真偽，拔除偽雜交株後，與輪迴親進行第一回交，並繫上標示牌。

(2)回交族群所種植株數視由非輪迴親轉移的性狀所控制遺傳的基因數目而定，一般由一、二對基因所控制的性狀，需種植株數 20-40 株即可，回交育種需留意選拔攜帶有非輪迴所轉移過來的性狀即可，可在田間或溫網室種植。

(3)將第一次回交族群中選拔具有由非輪迴親轉移而來的性狀植株與輪迴親作第二次回交；第三至六次回交方法與步驟同第二次回交，回交世代次數視所需要轉移的性狀定。

(4)回交育種過程中所需要進行的方法，視所轉移性狀的遺傳基因為顯性或隱性而定，若該性狀為顯性，僅需在回交後代族群中，選擇具有該性狀的單株和輪迴親回交即可；若該性狀為隱性，則需在回交後代族群各植株同時進行自交或試交，並選拔具有該欲轉移性狀的植株作為回交親本，此步驟為確定該性狀是否已轉移下來。

(5)為使所需的性狀在以後各世代不會分離，在進行最後一次回交後，就要將這回交族群自交並進行後裔檢定，使該性狀成為同型結合體，即可與輪迴親進行品系比較試驗。

表 15. 一般豆類蔬菜作物育種流程圖(取自 M. J. Silbernagel)

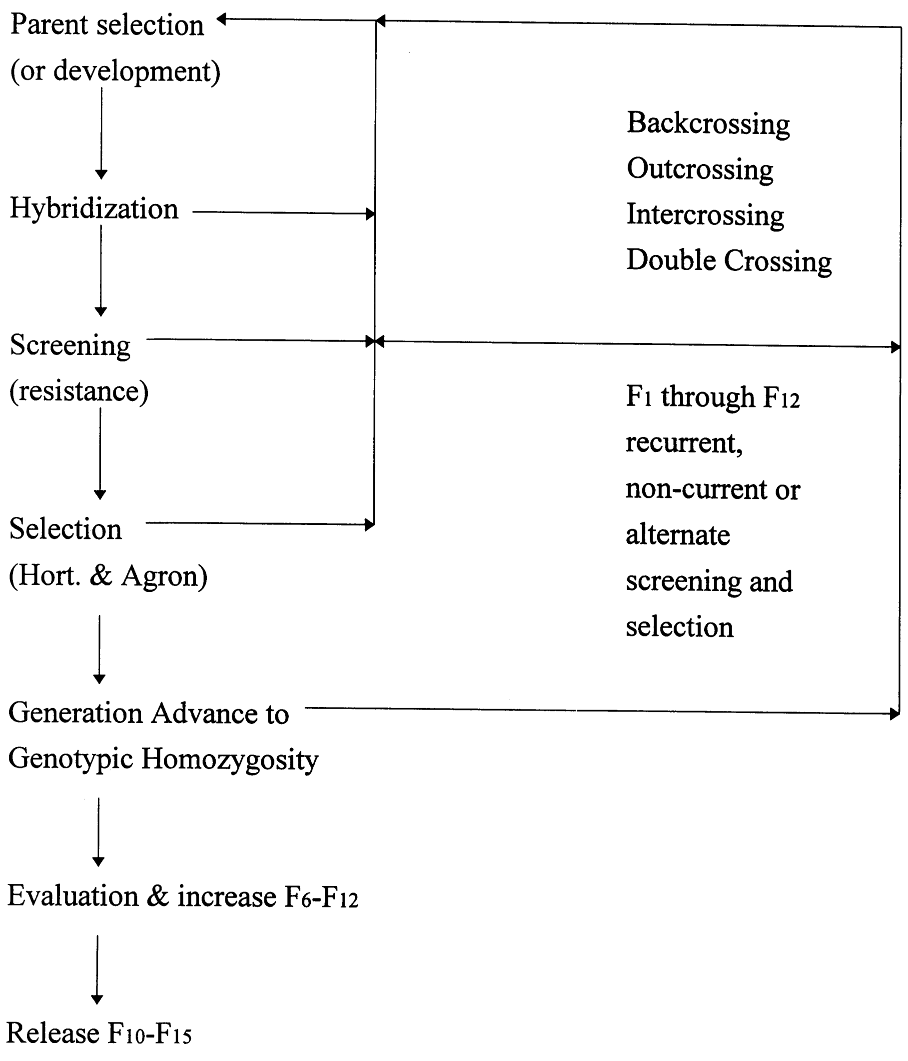


表 16. 藉由回交育種方法，將隱性抗病基因轉移至栽培品種(取自 Earl T. Gritton)

雜交組合			抗病品種(A)		感病品種(B)
			rr	×	RR
			↙		
回交第 1 世代			F_1		感病品種(B)
			Rr	×	RR
			(從 A 和 B 品種各獲得 50%基因)		
	試　交		↙		回　交
回交第 2 世代	抗病品種(A)		BC_1		感病品種(B)
	rr	×	1RR ： 1Rr	×	RR
	選擇異型結體 Rr 回交		(75%基因來自 B 品種)		
			↙		
回交第 3 世代	如上	×	BC_2		感病品種(B)
			1RR ： 1Rr	×	RR
			(87.5%基因來自 B 品種)		
			↙		
回交第 4 世代	如上	×	BC_3		感病品種(B)
			1RR ： 1Rr	×	RR
			(93.75%基因來自 B 品種)		
			↙		
回交第 5 世代	如上	×	BC_4		感病品種(B)
			1RR ： 1Rr	×	RR
			(96.875%基因來自 B 品種)		
			↙		
回交第 6 世代	如上	×	BC_5		感病品種(B)
			1RR ： 1Rr	×	RR
			(98.4375%基因來自 B 品種)		
自　交	RR		Rr		自交所有的植株，留抗病株的種子。
	↓		↓ ↘		
	全部 RR		1RR, 2Rr　1rr		
	感 病		感 病　抗 病		

種 間 雜 交

豆類植物為世界性重要作物之一，植株根部的根瘤菌具有固氮作用，可增進土壤肥力，嫩莢的蛋白質含量較一般蔬菜為高，種子亦含有很高的蛋白質和油分，為人們蛋白質的重要來源，然而豆類蔬菜的遺傳基因相當狹窄，限制了某些性狀的改良，利用種間的雜交，可增加遺傳變異、抗病性和抗蟲性。豆類蔬菜栽培種受到多種類病蟲為害，我們可從其他栽培種找到抗病蟲害種原，甚致於抗乾旱、抗熱、抗寒等其他性狀種原。利用種間雜交育種可以改良品種的抗病蟲性、莢果性狀、種子大小和顏色，莢果種子數及其他逆境抗性。菜豆屬有 4 個栽培種分別為菜豆(*phaseolus vulgaris*)、多花菜豆(*P. coccineus*)、尖葉菜豆(*P. acutifolius*)、馬利菜豆(*P. lunatus*)，其中多花菜豆有紅花矮生菜豆(*P. coccineus* var. *rubronanus*)，白花矮生菜豆(*P. coccineus* var. *albribabus*)和蔓性白花白粒菜豆(*P. coccineus* var. *albus*)等 3 個變種；利馬菜豆又可分大粒種利馬菜豆(*P. limensis*)和小粒種利馬菜豆(*P. lanatus*)，育種家利用種間雜交來改良栽培品種的重要特性和抗病蟲性， Smarth 指出 *P. vulgaris* 與 *P. coccineus* 雜交具有親和性，而 *P.* vulgaris 、 *P.* coccineus 與 *P.* acutifolius 雜交雖有部份親和性，但稔性低， *P. lunatus* 和其他三種菜豆雜交親和性較低，一般來說，以 *P. vulgaris* 作為母本與 *P. coccineus* 作為父本進行雜交成功率較高，反之較為困難，雜交後胚無法繼續發育，需藉助胚培養以獲得後代。豌豆屬中有 *Pisum formosun* (ornamental pea)， *P. aucheri* (Aucher pea)， *P. fulvum* (red pea)， *P. abyssinicum* (Abyssinian pea)， *P. syriacum* (Syrian pea)， *P. elatius* (Mediterranean pea)， *P. sativum*(garden pea)， *P. arvense* (field pea)等 8 種，豌豆屬種間雜交雖沒障礙，但 F_1 幼苗生長發育卻不正常，如 *P. fulvum* 與 *P. sativum* 雜交，所獲得的 F_1 種子會皺縮，反交雖可獲得正常種子，但幼苗的生長受阻，而發育不正常。豇豆屬中的 *Vigna unguiculata* 為重要栽培種，含有 5 個亞種，其中 *V. unguiculata* subsp. *dekindtiana* 和 subsp. *mensensin* 為野生種，而 subsp. *unguiculata* ，subsp. *sesquipedalis* 和 subsp. *cylindrica* 為栽培種，這三個栽培種間有較好的種間親和性，然而與其他二個野生亞種或 *V. mungo* ， *V. luteola* ， *V. radiata* ， *V. umbellata* 等雜交，會由於配子不親和性，雜種胚崩潰以及雜種稔性低，無法獲得種間雜種，必需藉助胚培養來克服雜交障礙。利用種間雜交將已存在其他種間的重要經濟性狀基因轉移到栽培品種中，以育成抗病蟲害或抗逆境新品種，但由於種間雜交所獲得的雜交胚會在未成熟前崩潰，因此，需要借助胚培養，生長素或其他化學藥劑的處理，促使染色體減數分裂正常，延長著莢日數，適當養份的供應及抑制物質的減少等，以促進胚的發育。

育 種 成 就

一、菜豆

自從首批直立型和圓型菜豆品種在 1865-1870 年推出以後，直到 1958 年美國農部 Bill Zaumeyes 育成了嫩莢、淺綠色菜豆品種 Tendecrop ，菜豆育種家利用 Tendecrop 的優良特性作為親本，育出一系列綠色嫩莢、莢果大、質優、植株有限

型生長、株型直立、種子成熟期集中和纖維發育較慢、適合加工、冷凍用新品種。1976 年法國人 G. Fouilloux 和 H. Bannerot 利用回交育種和譜系法選育出高產、質優、抗炭疽病和菜豆普通嵌紋病毒(bean common mosaic virus)等病害品種。同年 G. Fouilloux 等人育成一個抗 *Pseudomonas phaseolicola* 的優良新品種，這個品種在美國和歐洲地區有很大的栽培面積。 1982 年 A. Allavena 和 G. Soressi 利用回交育種，選育出具抗菜豆普通嵌紋病毒病和疫病的 Moniriso 和 Morena 兩個品種， 1940 至 1950 年代，菜豆加工製罐及冷凍的興起，為配合冷凍加工業的發展，育種家育成二個適合冷凍加工淺綠色種仁和高品質的加工品種 Kalaton 和 Gallatin 50 。 1960 年間為配合菜豆機械採收，育種家選育出適合機械化採收品種 Harvester 等品種。南美哥倫比亞 Cali 地方的國際熱帶農業中心(Centro Internacinal de Agricultura Tropical ，簡稱 CIAT)執行大規模的菜豆育種計畫，截至目前為止，已育成數百個對抗病蟲害具有抗性的新品系。近年來，美國佛羅里達大學 Dr. K. Awuma 和 Dr. M. Bassett 對菜豆的短果莢(*ds*)和細長分枝(*sb-1*)基因定位點進行連鎖研究，得知短果莢(*ds*)和濃綠色卷葉(*dgs*)有緊密的連鎖關係。 1986 年， Dr. S Mackenzie 和 Dr. M. Bassett 獲得一個穩定的雄不稔性材料，利用該雄不稔性材料與具有保持基因"Sprit"品種回交 8 世代後，鑑定出二個恢復基因材料。在抗病育種方面，由於顯性基因 *I* 對菜豆普通嵌紋病毒具有抗性，因此，許多菜豆栽培品種對菜豆普通嵌紋病毒都具有抗病性，菜豆普通嵌紋病毒的生理小種會使菜豆葉片產生扭曲病徵，抗病基因 *I* 和另一個抗病基因 *bc-1* 或 *bc-2* 或 *bc-3* 的結合，對扭曲和嵌紋病徵具有抗性。Dr. Freytag 育成菜豆 PR-190 品種、古錦文先生育成台中 1 號菜豆品種，這二個品種對銹病都具有抗性； Mr. Meiners 和 Silbernagel 育成菜豆 BARC-1 品種對銹病也具有抗性。 Silbernagel 氏另育成一個菜豆品種 8BP-3 對銹病某些生理小種、炭疽病和病毒病具抗性。 Dickson & Boettger 育成一些菜豆品系對 fusarium 和 pythium root rot 具有某種程度的抗性。

二、豌豆

1907 年 D. L. Rudzinskii 在莫斯科農業育種遺傳工作站開始進行豌豆育種工作，先後育成 11 個豌豆品種。豌豆為台灣重要冬季蔬菜之一，台中區農改場積極從事豌豆品種改良，於民國 60 年左右先後選育台中選 1 號和由單花在來與改良法國種的雜交後代育成台中 9 號，這二個品種取替當時由福建省引進之在來白花地方品種；民國 69 年，台中區農改場由"Melting Sugar ×乙女"的雜交後代育成台中 11 號，該品種適合嫩莢鮮食和冷凍加工，產量高和耐白粉病等優點；民國 77 和 78 年分別育成抗白粉病的台中 12 號品種和甜豌豆品種台中 13 號；民國 87 年由"薩摩×(新珍× $Knight^2)^5$"的雜交後代育成豆莢用之大莢、豐產、抗白粉病之豌豆新品種台中 14 號。白粉病為豌豆重要病害，其病原菌為 *Erysiphe polygoni* ，主要發生在涼爽乾燥的秋季，病徵為在葉片表面產生白色粉狀孢子，類似麵粉而得名，分生孢子四處飛散， 7-10 內就可造成流行性病害。白粉病之抗病性係受到

一對或二對隱性基因所控制，育成抗白粉病品種有台中 12 號、台中 14 號、Stratagem 等品種。豌豆立枯病為豌豆另一種重要病害，係由鐮刀菌引起的根腐病和萎凋病的複合感染，根腐病主要由 *Fusarium solani* f. sp. *pisi*，而萎凋病的病原菌為 *Fusarium oxysporum*，根腐病引起的主要病徵為地下根部褐化至腐爛，壞死；而由萎凋病引起的病徵為植株黃化萎凋，萎凋病生理小種約有 11 種之多，對豌豆生產構成威脅僅有 4 種。抗病種原有 Dia，Nike，Helia，R 4006，K 7589，PI 140165，PI 183910，PI 194006，PI 210257，PI 223385 等品種，抗病性係所 Fw，Fnw 等基因所控制。

三、豇豆

早在 80 年前，美國南卡進行豇豆抗病性檢定，得知 Iron 品種對於萎凋病和根腐病均具有抗病性，1939 年 Mackie 以抗病的 Iron 品種和感病的 California Blackeye 雜交，育成抗萎凋病和根腐病的 Blackeye 品種供加州地區栽培，1962 年澳洲育種家由 Poona 和 Blackeye 的雜交後代育成對 phytophthora stem rot 具有抗病性的 Caloona 品種，Gray(1976)利用 Mississippi Silver 和 Pinkeye Purplehull 的雜交後代，育成對病毒病具有抗性的 Worthmore 品種。1974 年設立在 Nigeria 的 International Institute of Tropical Agriculture 簡稱 IITA 機構進行 5,000 個豇豆種原的抗病性篩選，得知有 720 個種原對 1 種病害具有抗性，208 個種原對 4 種病害具有抗性，少數種原對 10 種病害具有抗性，例如 Iron 品種(編號 TVu 990)對萎凋病、根腐病、炭疽病、銹病、煤黴病、bacterial pustule、bacterial blight、cowpea banding mosaic、cowpea mosaic、southern bean mosaic 等病害具有抗性，VITA 1(編號 TVu 201)和 VITA 4(編號 TVu 1190)這二個品種能抗 9 種病害，為非洲潮濕低地相當重要品種。1981 年 Allen 等人從 PI 225922 品種中選育出具有抗非洲地區 4 種重要病害的 VITA 4 品種。農試所進行豇豆抗胡瓜嵌紋病毒和黑眼豇豆嵌紋病毒病抗病篩選，獲得農委 79 號和福師菜豆對上述二種病毒具病抗性，其中農委 79 號對胡瓜嵌紋病毒和黑眼豇豆嵌紋病毒的複合感染亦具有抗病性，楊和蕭二氏以抗病品種農委 79 號和新青青菜豆雜交，育成抗病毒病，豐產之農試 575 號品系。

採種技術

豆類屬自交作物，天然雜交率不高，除蠶豆的天然雜交率可高達 40%外，其餘各種豆類蔬菜之天然雜交率，依品種、氣候環境和昆蟲類別而有很大的差異，通常一般都在 0-10%之間。因此，為了避免原原種，原種和栽培種在採種時，受到其他品種的混雜，影響到種子的純度，品種與品種之間需要有適當的隔離，此外，溫度，光照，水份和養份等等都會影響到植株的結實率和種子的品質，在種子生產上需詳加留意，茲將菜豆，豌豆和豇豆在原原種，原種和栽培種等種子生產上，應注意事項，簡述於後：

一、菜豆

菜豆屬溫暖性蔬菜，耐寒性較弱，在 20-25 ℃的氣候環境下，植株生育茂盛，種子發育充實，採種量較高。品種間的天然雜交率差別很大，一般矮性品種天然雜交率為 2.7%，蔓性品種天然雜交率為 10%，因此，為了確保品種的優良特性，採種圃的距離應需在 100 公尺以上，另拔除採種圃內異型株，選留植株形狀良好，中間部位所結的莢果留種，低花房或末梢所結的莢果應盡早摘除。菜豆從播種至開花需 40-50 天，開花後約 40 天，莢果漸漸轉成褐色，種子變硬，即可採收，蔓性品種種子成熟頗不一致，需分多次採收，矮性品種可整株連根拔起，一次採收完畢。莢果晒乾後，莢殼和種子較易剝離，種子經精選後，再經陽光晒乾後，即可包裝貯藏在低溫低濕的低溫箱或乾燥箱裡。

二、豌豆

豌豆屬冷涼性蔬菜，耐寒性較強，生育適溫為 15-20 ℃，在冷涼乾燥環境下，植株生長良好，採種量高。豌豆花朵顏色雖艷麗，但花蜜不多，且雌蕊和雄蕊緊包在龍骨瓣內，雜交機會雖然不多，不過為了避免品種間機械混雜，確保品種純正，採種圃與其他豌豆品種隔離，至少要在 10 公尺以上，採種圃在植株生育期間，應經常巡視，一旦發現有異型株，就立即拔除，選擇生育健壯之植株作為留種株，留種株的留種節位以第二分枝節位為宜，植株全部花謝後，種莢變薄皺縮，色澤變黃後，即可採收。豌豆豆莢尚未十分乾燥時，豆莢是不易裂開，因此，採收時可將整株連根拔起，晒乾後，用木棍輕敲豆莢，使種子脫落或放入每分鐘轉動 350 轉的攪拌機，攪破豆莢，取出種子，種子若混雜有豆殼、枯枝或殘葉等雜質時，可用篩選和風選來去除雜質，種子經晒乾至水份含量在 14%左右時，即可包裝貯藏在低溫低濕之低溫箱或乾燥箱裡。

三、豇豆

豇豆屬高溫性蔬菜，耐熱性較強，生育適溫為 25-35 ℃，採種適溫為 20-30 ℃，因此，適合在亞熱帶地區採種，台灣南部地區，冬季氣候較為溫暖，適合種植豇豆，但採種栽培仍以春播較為理想。豇豆在高溫濕潤的氣候環境下生長，植株生育茂盛，結莢纍纍，土壤過於潮濕時，容易引起落花、落莢。豇豆雖屬自交作物，但品種間會有 5%的雜交率，因此，採種圃的隔離，至少要有 30 公尺以上，採種圃內之異型株和感染病毒病的植株，應盡早拔掉，植株初期所開的花，所結的果莢雖粗，但種子較不充實，此外，豇豆豆莢較長，容易觸及地面而腐爛，故不宜留種，植株末梢所結的果莢較小，種子較差也不宜留種，因此，留種部位應以植株中央部位所開的花，所結的莢果，其種子最為充實飽滿。豇豆開花後 30-40 天，豆莢轉為褐色，莢肉收縮變薄，種子變硬，種仁突出，即可採收。豇豆花期長至 40 天，分批採收，費時費工，幸好豇豆豆莢老熟後不易裂開，可懸掛在植株上，待最後的豆莢成熟後，一次採收。豇豆豆莢組織強韌，豆莢不易裂開，需要晒到十分乾燥後，用手撥開豆莢或用木棒輕壓豆莢，才能取出種子，種子經晒乾後，即可包裝存放在低溫低濕的低溫箱或乾燥箱裡。

參考文獻

中國農業科學院蔬菜研究所主編 1987. 豆類栽培. p.667-715. In：中國蔬菜栽培學 農業出版社 北京 中國

王 素、李佩華 1993. 矮生菜豆種子產量及其有關性狀的遺傳分析 p.52-55. In：科學研究論文匯編 中國農業科學院蔬菜花卉研究所 北京 中國

王 素、李佩華 1993. 豇豆產量組成性狀的遺傳和通徑分析 p.67-70. In：科學研究論文匯編 中國農業科學院蔬菜花卉研究所 北京 中國

王 素、李佩華 1993. 我國食用莢菜豆和長豇豆資源的搜集和利用 p.79-81. In：科學研究論文匯編 中國農業科學院蔬菜花卉研究所 北京 中國

王 素等 1996. 食莢菜豆種質資源苗期抗病性鑒定和嫩莢品質分析. 5 ： 22-24.

李學勇 1957. 豆類蔬菜的育種. p.207-245. In：園藝育種學 時代出版社 台北 台灣

李伯年 1982. 蝶形花科蔬菜. p.319-372. In：蔬菜育種與採種 茂昌圖書有限公司 台北 台灣

何 康等 1990. 豆類蔬菜. p.11-12.， p.22-24.， p.35-38.， p.44-46.， p.58-59.， p.91.， p.137.， p.139-140.， p261.， p.279-280. In：中國農業百科全書 蔬菜卷 農業出版社 北京 中國

汪雁峰等 1993. 長豇豆莢色的遺傳及其花蕾瓣和籽粒色澤的關係. 中國蔬菜. 3 ： 22-24.

周長久 1996. 菜豆. p. 220-234. In：現代蔬菜育種學 科學技術文獻出版社 北京 中國

林政行 1987. 植物抗蟲育種. p.172-180. In：植物抗蟲學 台灣省立博物館 台北 台灣

洪 立 1985. 菜豆之育種 p.105-128. 夏季蔬菜生產改進研討會專輯 桃園區農改場 桃園 台灣

徐兆生等 1997. 菜豆人工雜交授粉試驗. 中國蔬菜. 4 ： 16-19.

郭俊毅 1993. 台灣的豌豆. p.293-314. In：台灣蔬菜產業演進四十年專集 台灣省農業試驗所 台中 台灣

郭俊毅 1995. 豆類蔬菜產業之現況與展望 p.111-133. In：台灣蔬菜產菜改進研討會專集 台中區農業改良場編印 台中 台灣

郭俊毅 1995. 台灣豌豆品種之改良. p.153-166. In：蔬菜育種研討會專刊. 桃園區農業改良場編印 桃園 台灣

張渭章等 1992. 豇豆重要性狀的遺傳及育種. 中國蔬菜. 1 ： 50-53.

楊偉正、蕭吉雄. 1995. 豇豆抗病毒病篩選及抗病品種之選育 p.28. In：中國園藝學會八十四年度年會論文宣讀

盧守耕 1967. 現代作物育種學 國立台灣農學院叢書 第十號 國立台灣大學農學院出版 台北 台灣

盧守耕譯 1976. 作物育種學導論. 國立台灣農學院叢書 第十六號 國立台灣大學農學院出版 台北 台灣

Allen, D. J. 1983. The pathology of tropical food legumes—disease resistance in crop improvement. John Wiley & Sons Ltd. Toronto. Canada.

Bliss, F. A. and J. W. S. Brown. 1983. Breeding common bean for improved quantity and quality of seed protein. p.59-102. In : Plant Breeding Reviews. Vol. 1. AVI Publishing Co., Inc., Connecticut, USA.

Buishand, M. J. 1956. The crossing of beans (Phaseolus spp.). Euphytica. 5 ： 41-50.

Debouck, D. G. 1988. Phaseolus germplasm exploration. p. 3-30. In : Genetic resources of Phaseolus beans. Kluwer Academic Publishers, London.

Deppe, C. 1993. Breed your own vegetable varieties. Little, Brown and Company. USA.

Davies, D. R. 1976. Peas Pisum sativum. p. 172-174. In : Evolution of crop plants. Longman, London.

Evans, A. M. 1976. Beans Phaseolus spp. p. 168-172. In : Evolution of crop plants. Longman, London.

Gritton, E. T. 1986. Pea breeding. p. 284-321. In : Breeding vegetable crops. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, USA.

Hidalgo, R. 1988. The Phaseolus world collection. p. 67-90. In : Genetic resources of Phaseolus beans. Kluwer Academic Publishers, London.

Kallo 1988. Vegetable Breeding. Vol.1-3. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.

Kallo, G. 1993. Pea Pisum sativum L. p.409-425. In : Genetic Improvement of Vegetable Crops. B.P.C.C. Wheatons Ltd., Exeter. Great Britain.

Makasheva, R. Kh. 1983. The Pea. Amerind Publishing Co. Pvt. Ltd. USA.

Ng. N. Q. 1990. Recent developments in cowpea germplasm collection. Evaluation and research at the genetic resources unit, IITA. p.13-28. In : Cowpea genetic resources International Institute of Tropical Agriculture. Ibadan. Nigeria

Raymond, A. T. 1985. Vegetable seed production. Longman Inc., New York, USA.

Shanmugasundaram, S. 1980. Breeding leguminous vegetable crops. p.328-358. In : 園藝作物育種講習會專刊 台灣省農業試驗所 台中 台灣

Shinohara, S. 1989. Vegetable seed production technology of Japan . Vol. 2. 養賢堂 東京 日本

Silbernagel, M. L. 1986. Snap bean breeding. p. 244-283. In : Breeding vegetable crops. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, USA.

Singh, S. P. 1992. Common Bean Improvement in the Tropics. p.199-270. Plant Breeding Review. Vol. 10. John Wiley & Sons Inc., Toronto. Canada.

Som, M. G. and P. Hazra. 1993. Cowpea Vigna unguiculata (L.) Walp. p.339-354. In : Genetic Improvement of Vegetable Crops. B.P.C.C. Wheatons Ltd., Exeter. Great Britain.

Steele, W. M. 1976. Cowpeas Vigna unguiculata. p. 183-185. In : Evolution of crop plants. Longman, London.

Summerifield, R. J. and A. H. Bunting 1980. Advances in Legume Science. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, Surrey, England.

Waines, J. G. et al., 1988. Interspecific hybridization between Phaseolus vulgaris and P. acutifolius. Genetic resources of Phaseolus beans. Kluwer Academic Publishers, London.

萵苣育種

陳農哲

亞洲蔬菜研究發展中心

前　言

萵苣學名*Lactuca sativa* L., 為菊科 (Compositae) 中最重要的蔬菜種類，富含維生素A、B、C、E、和礦物質，尤其含有萵苣素 ($C_{11}H_{14}O_4$或$C_{22}H_{36}O_7$) 有苦味，具有催眠鎮痛等醫藥效能。萵苣適於生食，所以又叫生菜，當然也適於熟食，莖葉都可食用。台灣近年來隨著消費形態的改變，西式餐飲逐漸普及，無論在西餐中或家庭用餐，萵苣在生菜中佔有重要地位，因此消費量也逐年增加。另一方面，萵苣生長快速，栽培管理省工，較少病虫害，是比較可以安心食用的蔬菜之一。萵苣莖葉形態色澤變化很大，可分為結球萵苣、葉萵苣、立生萵苣、嫩莖萵苣等，將於下節分別說明。

從栽培面積、生產量及市場價值來看，萵苣是美國最重要的生鮮蔬菜。加州與阿利桑那州是主要產地，特別是結球萵苣加州佔70% 以上的產量。根據聯合國糧農組織（FAO）的統計，1997年美國萵苣栽培面積113,000公頃，產量3,856,000公噸，主要做生菜用，每年生產的結球萵苣有兩億球以上。半結球萵苣生產以歐洲為主，主要產地在英國、荷蘭與法國。地中海地區，則以生產立生萵苣較普遍。

起　源

萵苣原產於地中海沿岸地區，最早的記載在公元4500年的古埃及的墓壁上有萵苣的植株與葉片的描繪。其細形尖狀的葉片，與目前在埃及種植的Balady相似，又稱asparagus lettuce。隨著古希臘、古羅馬文明的演化，萵苣很快的傳到西歐各地，然後於公元1494年傳至新大陸 – 美洲。16世紀在歐洲出現結球萵苣，16-17世紀則有不同顏色皺葉萵苣的記載。中國約在五世紀傳入，11世紀蘇軾「格物粗談」中已有紫色萵苣的記載。

栽培種的萵苣性喜冷涼氣候，甚可耐近凍低溫，但耐高溫的品種亦有選育。地中海地區氣候由溫和到熱，由潮濕至乾燥都有。埃及可能是萵苣的起源中心，近海岸地帶氣候較溫和，內陸則很熱，因此萵苣可能起源於近海岸地區再向南往內陸延伸，至較冷的北方，因而其適應性已起變化。在熱環境下，萵

苣對高溫的反應是加速伸長其花苔，因此促進自然選拔晚抽苔者，使其生長足夠葉片增加植株的大小。相反地在北方較冷的環境下，會促進選育需要長日照開花的現代萵苣，以避免植株在生殖時期受到凍害。

分　類

萵苣品種很多，其莖葉形色澤變化也多，最近不同種類間的雜交中間種又發現不少。台灣栽培的萵苣可分為下列四類：

一、結球萵苣(Heading lettuce)

學名*Lactuca sativa* var. *capitata* L.,此類萵苣葉片開闊，外葉開展，心葉包卷形成葉球，如同結球白菜，葉球為食用部份。依其結球的型狀，又可分為二型：

1.包被型 (Criphead lettuce或Cabbage lettuce)：

葉球大，球葉包過球頂，很像彰浦型結球白菜的球型。葉型闊大，外葉綠色，葉緣有缺裂或波狀皺摺，葉片肥厚質脆，結球緊實，葉球白或淺黃色，適於生食。美國以這類萵苣最重要，台灣也逐漸普遍中。屬這類的品種如農友三元 (Georgia)、大將 (General)、大湖 (Great Lakes)等。

2.抱合型或半結球型 (Butterhead lettuce)：

此類萵苣的球葉不包過球頂，株形與球形較包被型小，葉面平滑嫩皺，葉色多淡綠色或綠色，質地柔軟，葉球鬆散，生長期短，適於生長期短促的寒帶地區，尤其在歐洲栽培較多，台灣則少有栽培。品種如Big Boston，White Boston，Buttercrunch等。

二、不結球萵苣或葉萵苣 (Loosehead or leaf lettuce)

學名*Lactuca sativa* var. *crisp*. L., 又稱散葉萵苣或刈葉萵苣。全株葉片散開不成球狀，台灣本地種萵仔菜即屬此類。這類萵苣台灣栽培最普遍，葉片較厚能耐雨，生長強健但較易抽苔，除適於生食及煮炒外，常用於菜餚的襯底及裝飾。葉萵苣的品種型色很多：依葉色可分為：（1）黃綠色系如農友的翠花（Grand Rapids）、Waldmann's Green等；（2）紫色或紅色系如Prizehead、Red Boston、New Red Fire等。依葉面平皺可分為：（1）平葉系如本地種萵仔菜；（2）皺葉系如翠花、(Grand Rapids)、Black Seeded Simpson等。依葉緣缺裂可分為：（1）全緣系如本地種萵仔菜；（2）缺裂系如Royal Oak Leaf、Salad Bowl等。（3）齒狀系如翠花（Grand Rapids）等。依葉形闊狹可分為：（1）尖葉系如本地種劍葉萵苣；（2）闊葉系如翠花（Grand Rapids）、Black Seed Simpson等。

三、立生萵苣 (Cos lettuce或Romaine lettuce)

學名*Lactuca sativa L. var. longifolia* Lam. 或*var. romana* Hort. 葉片狹長，中肋較粗，植株直立，心部葉片抱合成寬鬆的長橢圓形或長圓錐形，淺綠色質脆，外葉濃綠或淡綠色。地中海沿岸及中東地區栽培最多，生長強健快速，心葉供生食或炒煮。品種如Parris Island、Parris White等。

四、嫩莖萵苣 (Asparagus lettuce或Stem lettuce)

學名*Lactuca sativa* L. *var. asparagina* Bailey, 又稱萵仔菜心、萵苣筍，原產中國大陸，以長直粗壯的莖部為栽培目的，栽培得法莖部橫徑可達六公分，嫩葉亦可食用，但成長的葉片纖維多不適食用。

嫩莖萵苣在大陸有不同品種，台灣只有兩個品種，即農友發售的"帥透" (Celtuce) 與"陛下" (Majesty)。帥透原產中國大陸，1938年傳入美國，四年後由美國Burpee公司公開發售，1949年由郁宗雄與陳文郁從美國引入台灣，經栽培試驗成功後選出推廣的優良品種，當時又叫美國嫩莖萵苣，嫩莖萵苣適於生食涼拌、炒煮、加工醃製醬菜等。

植株性狀

萵苣為一年生到二年生植物，植株高度可達120公分，根系淺，鬚根發達。莖直立短縮，抽苔後成肉質莖，一般30-70公分，表面光滑。基部葉片成叢生狀，不分裂成逆向羽裂到羽狀中裂，短葉柄或近無柄，莖出葉互生，有披針形、橢圓形、側卵形等，色綠、黃綠、紫紅，葉面平展或皺縮，葉緣波狀或淺裂，外葉開展，心葉鬆散或抱合成葉球。繖房花序，花黃色，自花授粉，子房單果室，果實為瘦果，長紡槌形，黑褐色或灰白色，成熟時頂端具傘狀冠毛，易隨風飛散。

種間關係與親合性

萵苣屬菊科 (Compositae) 萵苣屬 (Lactuca)。萵苣屬有多少種 (Species) 因作者不同而異，Koster (1976) 謂包括300種。在這一屬染色体數2n=10，16，18，32，34，36，48等七種。在許多種中*L. sativa* L.，*L. serriola* L., *L. saligna* L., 和 *L. virosa* L. 四種是常利用於育種上，這四種都有2n＝18染色体數目。*L. sativa* 與 *L. serriola* 可以互相雜交，親緣最近，沒有親合性的問題；*L. saligna* 和 *L. virosa*的植物形態差異很大，兩者之間的雜交尚未獲得成功，這四種都屬自花授粉。*L. saligna* 若當做母本，可與 *L.* sativa 或 *L. serriola* 雜交，並可獲得可孕的雜交種。

*L. virosa*可與*L. sativa*和*L. serriola*雜交，但其雜交種子不稔。Thompson (1943) 以染色体加倍成功的獲得可稔的*L. virosa* x *L. sativa*。此外，有一群原始型(primitive forms)，如 *L. altaica, L. augustana* 與 *L. sativa* 和 *L. serriola* 很相似，這些種有進緣關係，可考慮是同一種(species)的不同型(forms)。Matsumoto (1991) 以原生質融合方法獲得 *L. sativa* x *L. virosa* 的雜交種，雜種植株生長比親本旺盛，染色体數2n=4x=36，開花正常但不稔。

花器生態與控制授粉

一、花莖之發育

萵苣的生長可分為兩個時期：首先是營養生長期，即葉簇與葉球的形成；其次是花莖 (seedstalk) 的伸長與開花。雖然花莖的形成是一不良好的栽培性狀，但是若目的是要雜交或生產種子，生態或育種上是必須的過程。

溫室栽植的結球萵苣，要促進種莖的伸長，可用促成葉片向外生長來阻礙葉球形成的過程。在田間則可讓葉球形成，再用刀砍去葉球頂部使種莖伸出來。也可將葉球去掉，留基部促使腋生莖的生長。

二、花的發育

萵苣伸長中的花莖產生一頂生頭狀花序及許多分枝形成的圓錐花序，具有許多複合花，每一頭狀花序由10-20小花與重疊的花苞形成的總苞組成。每朵小花包括有一黃色舌狀花冠包住雌雄花器，雄蕊五枚融合成筒狀為聚藥雄蕊，雌蕊位於雄蕊下面，早上花開放時花葯的花粉散落在內壁表面上。花柱頂端有兩裂片的柱頭，當花柱伸長出來時掃掠過雄蕊筒壁的花粉，因而完成自花授粉。受精後每小花著生一粒種子，大約二週內種子成熟。無限花序的複合花逐次開放，花期超過二個月。

頭狀花序於小花開花前24小時開始增大，頂環的花苞裂開，第二天早晨小花伸長展開露出雄蕊圓柱，雌蕊的花柱與柱頭經由這個圓柱顯現出來。柱頭出來後其頂端裂片分開成V狀，然後會向下彎曲，此時即表示柱頭的接受力已結束，不會再授粉。萵苣的花開放只有一次，開放過程短只有1-2小時，高溫與強光會加速開花的過程。

三、雜交授粉技術

從上面一節花器的構造生態，得知萵苣的花是絕對自交授精的，又從其開花過程來看，都須要有特殊的雜交授粉技術。特別是包圍在裡面的雄蕊圓柱是很纖弱細小又很困難除去，縱使用尖細的鑷子於早晨很早的時候，花柱伸出雄蕊頂端前可以將雄蕊圓柱去除，但是要去除數個圓柱在一朵小花內是很冗長又費時的工作。

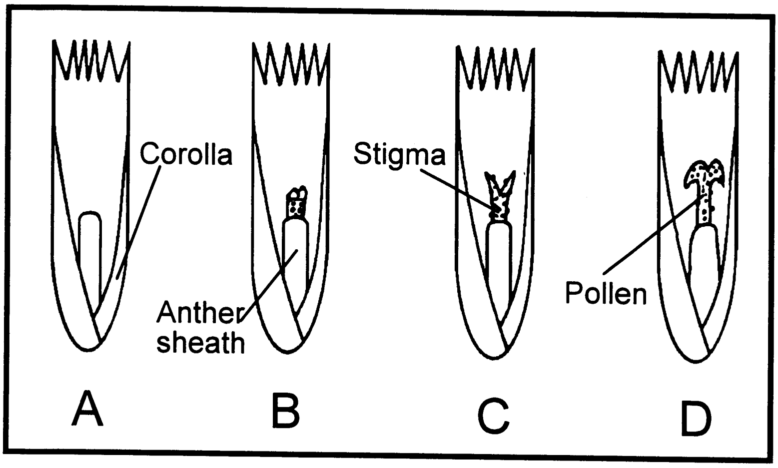


圖1. 萵苣小花的構造與開放過程

Fig 1. Structure and stages of anthesis of a lettuce floret.

(A) Early，stigma not yet emerged from anther sheath.

(B) Stigma emerging, covered with pollen.

(C) Ideal stage for pollen removal.

(D) Too late for crossing; selfing has occurred.

(After E. J. Ryder, 1986)

最常用的除雄授粉方法是Oliver(1910)的水洗除雄法，此法系用很細的水流於柱頭裂片開始分開而尚未向外卷曲前洗花。萵苣開花後有些花粉粒已發芽，但大部份可以用水洗掉。雜交授粉即用父本的花粉接觸已洗過的花。太早或太遲洗花，排除自花授粉的效果減低。既使洗花時間適當，也難免會有一些自交發生，因此最好是有方法能在雜交後代區分自交與雜交的植株，最好的方法是利用苗期的標誌基因。若父本有顯性的標誌基因，其雜交後代將表現這顯性的特性，而自交的植株則表現隱性的性狀。萵苣的花青素(anthocyanin)基因，深淺不同的綠色，葉形等是常用的標誌。

如果沒有特殊的苗期基因供區分親本時，可雜交不同類型的萵苣如butterhead與crisphead，則從其顏色的深度、葉形、葉質與生長方式便可容易的區分，但必須同時種植兩個親本做比較。還有某些抗病性基因如抗露菌病也是可以利用的標誌，但必須在人工接種或自然有發生病害的環境下。最後在生長後期的植株性狀包括花色與種子顏色也可以利用，但是要等很長時間植株生長至4-5個月後才能觀察去除自交植株，比較不理想。

為了減輕分別自交株與雜交株的麻煩，可以從柱頭剛開始出現即重複水洗花粉2-3次，以去除最大限度的花粉。當柱頭出現期間利用細小的噴嘴噴水一次可以洗大量的花，間歇的或繼續的洗整個花序。用這個方法通常可達到100% 雜交率，尤其進行回交試驗時特別重要，因為少數的自交植株可導致錯誤的結果。

雜交授粉最好能在溫室進行，若在室外必須考慮風、雨或昆虫等因素可能使雜交種子失掉。萵苣的花粉有黏性不易被風吹走，所以混合外來花粉的機會很小，但仍有饑餓的昆虫在萵苣花採食，根據研究其平均天然雜交率為1% 。

基因控制的雄不稔性在育種上可利用做雜交組合的母本，省略雜交前一些厭煩的除雄工作。

萵苣主要育種成就

抗病性育種，提高產量與改進品質都是一般育種的目標，歐美過去萵苣在這些改良目標及耐抽苔方面都有顯著的成就。台灣過去在萵苣引種與選種上有成功的例子，但尚無實際育種改良的成果。

一、抗病性育種

萵苣育種家過去育成抗病性品種推廣的包括露菌病(downy mildew, 美國及歐洲各國)、brown blight(美國)、萵苣嵌紋病毒病(lettuce mosaic)與Bidens mottle (美國)。Brown blight的病徵是黃化、壞疽與死亡，田裡幾乎全部的植株都會感染，Jagger(1926)從田裡選拔健康未死的植株，經進一步試驗證明高度抗病性，最早三個抗病性的Imperial品種，即由此育成。

這些Imperial品種與法國品種Blonde Lente'a Monter雜交培育成第二系列的Imperial系，對brown blight和露菌病(*Bremia lactucae*) 兩種病具有高度抗病性。但是很不幸1932年露菌病病原菌的新菌株race 5出現，原有的品種都變成感病，導致進一步的育種計劃，而育成新抗病品種如Imperial 410(1945)、Valverde(1959)、Calmar(1960)。新品種Valverde的育成(Whitaker and Leeper，1959)拯救了美國加州Lower Rio Grande的萵苣產業。新品種Calmar出來後很快的取代加州海岸地區栽培的一群Great Lakes系，這品種除抗露菌病外，也十分抗頂燒病(tipburn) 及中抗巨脈病(big vein)。一群由Calmar經再選拔或雜交所得的品種，也都對露菌病具有抗病性。此外，1991年育成的結球萵苣品種Glacier、Misty Day, 則對corky root 病(*Rhizomonas suberifaciens*)及露菌病Pathotype I 都具有抗病性。

露菌病在美國萵苣栽培地區屬偶爾發生的病害問題，但在西歐是一直有問題的病害。病原菌產生新的生理型(小種)以對抗新的抗病品種，因此形成新品

種→新菌株→新品種→的連續循環。自1925年後60年來總共育成120個萵苣品種提供抗病性對付不斷出現的病原菌新菌株(strains)。

萵苣嵌紋病毒病 (lettuce mosaic)，主要由媒介昆蟲綠桃蚜 (*Myzus persicae*) 傳染，曾經是世界主要萵苣種植區討厭且嚴重的問題，美國許多地區以強制使用健康不帶病毒的種子來防治。不同的抗病源已在美國與阿根廷檢定確認，一些抗病性品種已在歐洲育成推廣。Vanguard 75是美國的一個抗萵苣嵌紋病毒病的品種，適合加州與阿利桑那沙漠地區的晚生品種。Florida 1974是一立生萵苣品種抗嵌紋病毒病，也抗在佛州發現的另一病毒病－Bidens mottle。1992年育成的半結球萵苣Florida 202與Everglades 也是抗嵌紋病毒病的品種。

半結球萵苣的育種中心主要在歐洲，而露菌病抗病性育種是最重要的目標。育種最重要的成就，在曾就寄主與病原菌(真菌)間的關係，創立一種合理的假說之一。根據多年累積的證據，對不同病原小種(races)的抗性，是由顯性複因子單獨控制。露菌病的育種與遺傳研究，在歐洲各國進行，病原小種與抗病性都已各自鑑定。但是其結果有許多混淆的地方，使人不知道那些病原小種是相同或相異。

二、產量改進

以美國為例萵苣產量最近幾年有明顯的改進，產量提昇有幾個因素：如病虫害防治、增大葉球、栽培技術改良、提高整齊度與採收率。根據聯合國糧農組織 (FAO) 的資料 (表1)，美國萵苣平均產量的變化如下：

表1. 美國萵苣單位面積產量

Table 1. Yield per hectare of lettuce in USA

年　代	產　量(t/ha)
1961	20
1965	21
1970	22
1975	26
1980	30
1985	31
1990	35
1995	34
1997	34

FAOSTAT Database 1997.

美國萵苣每公頃平均產量1965年為21公噸，1975年26公噸，1980年30公噸，1990年增加到35公噸。品種不同是主要產量提高的原因，1960年代加州栽

培的品種主要是葉球較小較輕的Great Lakes 與Imperial系。到了1970-80年代這些品種都被R.C. Thompson 育成的Calmar、Empire、Merit、Climac 與Vanguard所取代。美國東部的萵苣，1960晚期至1970早期以G.W. Raleigh育成的品種最成功，因他將抗頂燒病與耐抽苔的性狀轉移到令人滿意的品種，因而增進萵苣的產量。這些品種如Fulton、Minetto、Ithaca、Fairton很快的取代了東部、中西部與佛州的萵苣品種Great Lakes 659、Imperial 456與Pennlake。

三、改良品質

Lactuca virosa 與栽培品種萵苣可以雜交，但其雜交種為雄不稔。R.C. Thompson 以PI 125130(*L. virosa)* 雜交另一品系(出自複雜的*L. sativa* – *L.* serriola雜交組合)，並以秋水仙精處理雜交一代，所得到的複二元体(amphidiploid)還是雄不稔，再經多次回交栽培種萵苣後恢復到二倍體，最後於1959年育成Vanguard。Vanguard有許多品質特性與其他結球萵苣品種不同，它是暗綠色、質地柔軟、平肋、有廣大的根群，少有苦味，而且成熟時品質不會很快降低。優良的品質多半來自*L. virosa* 親本。Vanguard 的質地、中肋型、特殊風味加上其具有頂燒病的抗性，使它有很高品質的評價，非早期結球萵苣可匹敵。這些優良品質性狀也在Vanguard再選拔出來的Winterhaven、Moranguard 及進一步雜交選育的Vanguard 75、Salinas 等品種上發現。Vanguard 型萵苣是美國西部現在最主要的栽培品種。另外一個重要的品質特性是抗抽苔，這是上一節所提到的一些東部品種成功的因素。

萵苣育種目標

美國農部加州Salinas農業研究站，針對結球萵苣品種與種原的培育，有很廣泛的育種計劃，該計劃有四大目標包含範圍很廣的育種目的：1)抵抗性：主要包括抗田間病害、虫害、耐鹽性、抗採收後病害等，2)改良園藝性狀：選擇對外觀品質有利表現的性狀，3)整齊度：選拔葉球形成與成熟整齊的品系，4)特殊環境的適應性：重點在西部海岸、內陸及沙漠谷地。

一、抵抗性(Resistance)

1.巨脈病(Big Vein)

巨脈病是由病毒相似的病原体引起，由一種附食根部的真菌*Olpidium brassicae* Dang 傳入植株。其病徵為葉脈透明，葉明顯硬化，植株變密叢狀，葉球形成延遲或受阻。抗病性的育種於1957年開始，曾試圖從不同的來源收集抗病性基因，其根據可能是多因子控制的低程度的抗病性存在於許多栽培品種，育種家試圖利用雜交與選拔的循環過程，繼續提升抗病性到最高點。而且在這育種進行中同時研究抗病性的遺傳與調查評

估抗病性基因在所有萵苣栽培品種的分佈。

兩個抗病性品種，Sea Green 和 Thompson，及五個抗病品系，於1981年育成推荐給種子業界。這兩個抗巨脈病品種與對照品種的比較如下表：

表2. 萵苣品種巨脈病(big vein)發病率與第一次採收率比較

Table 2. Comparison of big vein(BV)% and first harvest(Harv.)% for two cultivars selected for resistance with two moderately susceptible cultivars.

品　種	1978		1979		1980	
	BV (%)	Harv (%)	BV (%)	Harv (%)	BV (%)	Harv (%)
Thompson	12a	81a	36ab	54bc	21a	64ab
Sea Green	14a	62bc	55bc	70ab	20a	75a
Salinas	56b	58bc	71c	82a	76b	48b
Calmar	54b	30d	91d	75ab	67b	11c

採自：Ryder(1986)；Mean separation by Duncan's multiple range(1%)

2.菌核病(Sclerotinia Drop)

萵苣成株嚴重萎凋，葉片腐壞而死是菌核病的特徵，此病由病原菌 *Sclerotinia sclerotiorum* 或*S. minor* 引起。田間與溫室有限的試驗顯示此病有很大差異，而且可能由遺傳控制，故須試圖集合不同來源的抗病性。

3.萵苣嵌紋病毒病(Lettuce Mosaic)

此病毒病可由種子傳帶，其比率有1-3% ，田間則由帶病毒綠桃蚜傳染。初感染出現葉脈透明，接著葉片出現斑紋及向後捲曲，葉緣增加皺褶，成株黃化，成長受阻矮小，因此不能收穫。

嵌紋病毒病的抗病性是隱性單因子控制，過去美國曾有兩個抗病品種，歐洲有數個抗病品種育成。美國目前的育種活動是培育新的抗病性品種與種原，研究遺傳連鎖關係與抗病機制等。同時研究不同環境因素影響下的病徵表現及種子傳帶病毒。

4.頂燒病(Tipburn)

頂燒病發生在收穫時期是一種生理病害，係因鈣素吸收失常不能到達邊緣的組織，而在葉球心葉邊緣有褐化部分。田間檢查員如果發現採收中的萵苣有某種程度的受害，便有權利全面停止採收。因此對栽培者而言，頂燒病是一大經濟損失。其篩選頂燒病的方法，是將生長於溫室內25℃，55% RH環境下供試萵苣，移至透明塑膠帳棚內，棚內溫度保持40℃，相對濕度90% ，並施用較高量肥料，使植株快速生長，2－3天後頂燒病徵即出現。

Calmar和Salinas是對頂燒病有高度抗病性的品種，在美國農部的研究站，後者已利用做親本雜交，並在田間選拔抗病性後代。頂燒病可在高溫培養箱內誘引發病，這個技術已進一步改善，使育種家能更有效率的進行抗病性選拔。

5.甘藍擬尺蠖(Cabbage Looper)

擬尺蠖是萵苣重要虫害，抗虫性的種原曾在野生種*L. saligna*與*L. serriola*中發現，並轉移到栽培種，但效果不好，因此昆虫在偏愛或不偏愛的植株都產卵。

6.耐鹽性(Salt Tolerance)

在沙漠生產區因鹽分的累積限制了萵苣的生產，品種間不同的耐鹽性曾被證實，將被利用於雜交選育，培育耐鹽性品種。

二、園藝性狀改良(Horticultural Improvement)

萵苣育種的兩大要點是類型與品質，類型包括顏色、葉形與質地、葉球形狀與大小、葉柄基部外觀(butt appearance)。美國萵苣育種史上有四類型的結球萵苣：(1)Imperial, (2)Great Lakes, (3)Vanguard, (4)Empire。過去20-30年當一新類型推出後，育種家便培育該類型的品種，直到有突破舊類型，育成新的品種集合各種優良的園藝性狀。

三、整齊度(Uniformity)

萵苣另一種重要育種目標是整齊度，能合乎所謂的有經濟效率的一次採收(once-over harvest)。以前萵苣同一塊田採收3-4次是很普通的操作，目前已減低到1-2次。

品種、栽培技術及採收方法三者對萵苣的產量與整齊度應有相當的影響，可惜這方面還沒有分開的研究。培育整齊度高的萵苣，其篩選方法乃測定葉球的硬度以決定成熟度，測定方法可以手壓葉球探測，也可以用X光或gamma rays 探測葉球，放射線減少愈多，葉球的密度愈高，愈成熟。

整齊度是萵苣一項產量構成因素，第一次採刈的產量非常重要，不但有關市場價格亦影響運銷者做第二次採收的決定。相反的有高的第一次採收並不表示整齊度高，因為有些運銷者為了要保持品質獲得高價格，當田間25-30% 成熟時即採收，而有些人則等到大部分葉球成熟才採收，後者會犧牲一點品質，減低原可獲得的價錢，但減少採收成本。

四、特殊環境的適應性

美國萵苣全年可以栽培，地區由北向南，無論土壤、溫度、光照、日長、水質、相對濕度都有很大變異。因此第四育種目標是育成品種適應特別季節與地區。這目標必須於每一地區與季節從F_2、F_3 世代開始選拔，其他可採取的方法是培育有廣大適應力的品種，必須評估篩選所有每世代選拔的材料於每一有興趣的地區。有些過去育成的品種就有廣闊的適應力如Great Lakes 659。

五、其他地區的育種目標

美國東北部與中西部的萵苣一般種植在腐植土(muck soil)及相對高溫環境下，整齊度沒有西部重要，但抗抽苔性是重要的育種目標。北歐萵苣育種有另外不同育種目標。最普遍的萵苣是半結球型(Butterhead)。如英國、荷蘭、法國栽培地區、夏長冬短、雨霧多溫度低，露菌病是一最重要的問題。因此幾乎所有的育種計劃，露菌病的抗病性是最主要的目標。育種計劃相當複雜，包括育成抗病品種抵抗現有病原小種，新的致病性病原小種取代現有病原小種，尋找新的抗病性來源，育成新的抗病性品種等等過程。

歐洲半結球萵苣冬天是種植在溫室內或依賴從地中海地區進口，另一主要育種目標是育成適合冬季逆境生長的萵苣品種，包括短日、不良光照、減低溫度節省能源等問題。

六、潛在的育種目標

除了上述廣泛的育種目標外，下面三點是有需要研究的潛在範圍：

1.營養價值：不同變異的營養成分存在於不同萵苣種類，但同種類不同品種間的差異較小，因此有可能增加結球萵苣的營養價值須經由其他種類雜交，然後從其分離後代選拔，但必須建立適當的篩選方法。

2.能量的效率：萵苣需要很多的能量投入換取相對少量的生產，以目前加州西部的栽培模式估算，全部能量投入為8億Kcal/acre，包括機械、燃料、肥料、灌溉、殺虫劑等，生產出來的只有1.7億Kcal/acre。藉著育成較大有效率的根群、改良植株結構樣式、或選拔改進的生化途徑等，有可能縮小萵苣能量投入與生產的差異。

3.不結球萵苣的育種：美國萵苣的利用偏重結球萵苣，近年來消費者也增加對其他種類的喜愛，將有利刺激其他種類品種，以育成具抵抗性、適應性、適於運輸及其他已存在於結球萵苣的改良性狀的品種。

台灣萵苣育種的特殊目標

萵苣非常適合台灣春、秋、冬三季栽培，因此從各國引進的品種，經過適應性評估即可篩選優良的品種。台灣若要做萵苣育種，其目標應是耐熱性的品種。萵苣在高溫下容易早抽苔與發生頂燒病，最好能從地中海熱帶地區收集野生耐熱種原，並以晚抽苔抗頂燒病為改良目標，育成適合台灣晚春或夏季栽培的耐熱品種。

所有育種目標的完成，部分須經由充分利用引進的種原，惟大部分種原尚未依可利用的基因分類。按Robinson等(1983)報告，59種基因已經由萵苣與相關野生種中鑑定，這些基因中一些已經用於育種或有潛力用於將來的育種(參考表3).

表3 萵苣遺傳性狀及其基因

Table 3. Simply inherited characters in lettuce and their gene symbols[a]

Preferred symbol	Character description	Reference
Seed, leaf, and bolting characteristics		
C, G	Anthocyanin formation; controls presence of red color[b]	Thompson, 1938
R, R^{s}, R^{bs}, R^{t}	Anthocyanim distribution (pattern) controlled by an allelic series[c]	Lindqvist,1960; Thompson, 1938
Sc	Scallop leaf margin	Ryder, 1965
t	Slow seedstalk formation; bolting resistance	Bremer and Grana, 1935
u, u^{a}	Leaf lobing; allelic series[d]	Durst,1930; Whitaker, 1950
w	White seed; W confers black seed color	Durst, 1930
y	Yellow seed; w epistatic to y	Thompson, 1943
Male sterility		
ms-4, Ms-5	Male sterile, genetic[e]	Ryder, 1963
ms-6	Male sterile, genetic	Ryder, 1967
Disease resistances		
bi	Bidens mottle virus resistance	Zitter and Guzman, 1977
Dm-X	Downy mildew resistance[f]	Johnson et.al., 1977; 1978; Zink and Duffus, 1970
mo	Lettuce mosaic virus resistance	Ryder, 1970
Nl-1, Nl-2	Non-lethal reaction to virulent lettuce mosaic strain	Zink et al., 1973
Pm	Powdery mildew resistance	Whitaker and Pryor, 1941
Tu	Turnip mosaic virus resistance	Zink and Duffus, 1970

a. Adapted from Robinson et al 1983

b. Complementary factors; both present in domnant form(C/-, G/-) results in anthocyanin formation. G formerly designated as T.

c. R, full red; R^{s}, spotted; R^{bs}, red-brown spotting; R^{t} tinged with red.

d. u, lobed; u^{o}, oak leaf; U, non-lobed.

e. Act together to give 13:3 ratio in F_2.

f. X= 1, 2, 3, 4, 5, or 10; identified alleles for resistance.

育種與選拔技術

萵苣育種與選拔技術依選拔的性狀而定，單因子控制的性狀可以在控制的環境如溫室、實驗室或生長箱進行選拔；較複雜的性狀需要較複雜的技術，如在溫室與田間的評估分別或同時進行。

一、單因子性狀

1.萵苣嵌紋病毒病(Lettuce Mosaic)

(1) 回交法(backcross method) 選擇抗病性的野生種與已經適應但感病的栽培品種雜交，利用回交技術F_1回交輪迴親本，並且重複回交數代。若是一顯性因子，適當的親本很容易從每一後代選擇，假如所要的是隱性因子，只有一半帶有所要的因子，則回交可盲目的選擇多點植株以確保能轉移其因子，但比較保險的方法，乃種植F_2世代，從分離後代選擇合意的親本株。例如轉移嵌紋病毒病抗病性，須要在分離後代接種，選擇抗病的植株供做繼續回交。回交2-4次後，種植後代於田裡，從抗病分離後代再選拔可以接受的園藝性狀。如此則可淘汰不結球、結球不良、過多吸芽、不良葉形等植株。

(2) 譜系法(pedigree method) 譜系法與回交法可同時進行，於F_2或BC_2F_2世代後裔集團中選拔抗病植株種植田裡，並選擇改良的園藝性狀。

(3) 病毒接種：田間不適於嵌紋病毒接種，故接種都在溫室進行。大數量植株機械接種不可靠而且費時，故現在採用媒介昆虫接種。綠桃蚜(green peach aphids)移植到感病植株，然後再移轉到健康苗。蚜虫不是持續性寄主，病毒在昆蟲口中經吸食機械性的傳給健康苗。接種後病徵約於10-14天後出現在感病的植株，沒有病徵的植株可能是抗病的或逃脫的，抗病植株會出現溫和”抗病病徵”。

2.露菌病(Downy Mildew)

萵苣露菌病抗病育種的計劃有下列特色：(1)抗病性是對特定的病原小種，抗病的表現型很容易鑑定；(2)病原菌需要相對低溫高濕環境才能發病，人工接種必須控制溫度與濕度，最好在溫室(冬季)或生長控制室進行；(3)北歐萵苣露菌病經常是一個討厭麻煩的問題，抗病性育種還要針對有地區性、時間性的病原小種，甚至要去發現並克服新病原小種。此病原菌很有侵略性又是有性繁殖，面對育種家育成抗病性品種的挑戰，不斷產生有遺

傳性、致病性的新型病原小種對抗新的抗病品種。育成抗病性更廣闊、病原小種沒有特別選擇性的品種，將可產生比現有的更穩定的抗病性，這是新的育種策略。

二、複因子性狀

當一個性狀的遺傳基礎不清楚或複雜時，育種與選拔方法就比較不正確而需要更多的時間與過程。下面是一些複因子性狀的育種技術：

1. 巨脈病(Big Vein)

巨脈病發生於低溫時萵苣種植在較濕而黏重的土壤，品種間有些差異，而這差異部分是可經遺傳的。在田間這差異於春季氣溫冷時某些土壤特別明顯。冬季溫室不加熱處理技術，得以進行育種與遺傳研究。自然接種發生在田裡與溫室，若土壤不消毒燻蒸。更確時的接種技術是用無土栽培、控制溫度、及用定量的*O. brassicae* 游動孢子接種。

2. 抗虫性(Insect Resistance)

抗虫育種是一複雜的因素，不像病原体昆虫能獨自移動選擇產卵與覓食的地方。抗虫性基於產卵或幼虫的不偏愛(non-preference)假設昆虫將放棄棲息，如果偏愛的寄主不存在。但事實上無論偏愛寄主存在與否很多昆虫選擇不偏愛寄主。擬尺蠖抗虫性育種的技術可從野生種*L. saligna* 篩選幼虫不偏愛性而從*L. serriola* 篩選不偏愛性產卵。

飼養第一齡幼虫於小箱內，放各一片完整的葉片，包括不抗虫對照Prizehead和*L. saligna*。5天以後幼虫數目不超過對照五分之一，即選做為有抗虫潛力者，並再做測試，第二次試驗時，那些沒有超過五分之一的即選做育種材料。另外*L. serriola*植株與對照品種Prizehead 和Great Lakes在網室內隨機安排種植3行區，晚間釋放210對已交配過的蛾，第三天早晨數算卵數，比對照品種的平均卵數少30% 以上的植株即選做育種用。抗虫的植株與適應的栽培種雜交，抗虫的F_1自交產生F_2以固定抗虫性，然後回交恢復原來有的優良園藝性狀。

三、田間評估性狀與技術

1. 田間評估性狀包括：外面顏色、內部顏色、外葉數與大小、球形、葉質地、葉緣型、硬度、頂葉排列狀、莖長、莖寬、中肋突出狀、葉基顏色、內葉排列、葉型等。

2.田間性狀選拔的輕重點，乃根據育種家的個性、生產者與購買者的喜好、包裝運輸的限制及其他規範等，很多性狀都是育種家主觀評估，如顏色、葉球形態、球框大小形狀(包括：葉、球葉)等，都是一瞥即評定首次的接受度。

3.上述性狀接受後，再評定葉球硬度，以手壓著葉球頂部與四週來判斷，選取的植株，以有色支柱標識。下一步驟是檢查葉球內部，通常用刀在葉球適當角度切兩刀橫過頂部深約7-8公分，用這四分之一球挑開檢查。

4.F_3及以後的後裔世代，系行的性狀比單株重要，原則上整齊度及頂燒病和巨脈病的比例為觀察重點。育種家選擇系行依據最高比例：(1)硬葉球，(2)形狀良好的葉球，(3)葉球有可接受的葉框、外包葉及葉片分佈。換句話說選擇系行最高比例相似的葉球外表與發育。

5.性狀最一致的系行選出後，再從同一系行選擇最好單株，直到F_6或F_7世代。這時可以混合剩餘的種子供下季田間試驗，也可以再從這些系行混合選種。田間試驗有時可提早於F_4世代混合單株選種部分種子同時進行。

四、生物技術的應用

生物技術應用在萵苣育種上，包括有細胞或組織培養、原生質融合、小孢子或單倍体培育、DNA重組合、基因轉殖等。這些技術提供(1)增加變異，有些變異育種上非常有用，(2)新的快速增加群体數目的方法，(3)取用野生種的變異性狀，轉殖到栽培品種上。生物技術的應用，可提高育種效率，縮短育種時間。

美國農部萵苣育種計劃

多年來美國農部有兩個萵苣育種計劃，一在Imperial Valley 由I.C. Jagger(1922)首先開始，後來由T.W. Whitaker與G.W. Bohn 接續。另一在Beltsville, Maryland後來移至Salinas, 由R.C. Thompson(1938)開始，繼之者有E.J. Ryder(1957)與J.D. McCreight(1977)。

早期兩個計劃的基本材料來自本地老的栽培品種及來自歐洲，還有種原來自*L. sativa*及相關野生種*L. serriola, L. virosa*與*L. saligna*。從這些材料培育了許多品系，而大部分的栽培品種即這些品系改良育成。自1920年代後期開始至1981年，美國農部共育出7個品種、14育種品系，鑑定命名21個遺傳基因和3個連鎖群。這個計劃的重要紀事如表4。

表4. 美國農部萵苣育種計劃摘要

Table 4. Summary of overall lettuce-breeding program at USDA research station, Salinas, California[c].

Year	Program beginning[a]	Cultivar output	Genes and linkages identified[b]
1957	Big vein, horticultural improvement, uniformity		
1958	Genetics	Vanguard, Climax, Golden State A, B, C, D	
1959	Lettuce mosaic		
1960			
1961			
1962		Francisco	
1963	Linkage		*ms-4, Ms-5, sh*
1964			
1965			*Sc, fr, sn, ct, cr*
1966	Specific adaptation		
1967			*ms-6*
1968			
1969			
1970	Quantitative inheritance		*mo*
1971	Tipburn		Ms-7, go, vi, pa, ab, pl
1972		Monterey	
1973			
1974		Portage	
1975		Salinas, Vanguard 75	fr/w, fr/ms-6, vi/w, en, cd, al-1, al-2, al-3
1976			
1977	Sclerotinia		
1978			
1979	Downy mildew		
1980	Corky root rot		
1981	Root aphid, infectious yellows	Thompson, Sea Green	

a. Material input：R.C. Thompson materials followed by continuous input of cultivars,PI lines, breeding lines.

b. See Robinson *et al.*(1983)

c. Adapted from Ryder(1986)

萵苣嵌紋病毒病抗病性育種範例

嵌紋病毒病抗病性育種的例子，可以說明一個主要目標育種的方法、程序和其複雜性(圖2)

1950年代萵苣嵌紋病毒病為害嚴重，是一世界性共同的病害問題，為了防止其漫延，首先採取的措施由地方法令規定Salinas Valley 種植萵苣種子傳帶病毒必須低於≦0.1% ，後來演變成標準規定30,000粒種子檢試零感染。標示種子感染率已成為種子公司及後來農民協會的常規操作，對控制病毒病非常成功。

抗病性育種於1959年開始，首先尋找抗病性的來源。1962年發現三個農部引種品種：PI251245、PI251246和PI251247為抗病，這些都來自埃及。PI251245與PI251246各與一結球萵苣品系雜交，後者的後代選拔到F_3就放棄了。Crisphead x PI251245選拔到F_6，可是沒有發現有抗病性與好的結球性狀。因此F_1與抗病性F_2、F_4、F_5、F_6分離子代分別與三個結球萵苣品種Great Lakes 118、Calmar、Vanguard 回交。與Vanguard 回交六次，每次回交均從前次回交的F_2 選擇抗病子代，BC_6後又完成兩次混合選種，最後BC_6F_3的種子釋出而成Vanguard75品種。Great Lakes 118與Calmar的回交進行到BC_6F_2與BC_7F_2，但沒有育成好的園藝性狀型。

1966年開始，將溫室病毒病抗性育種的材料移至田間，供譜系選拔改良園藝性狀，間隔利用一些品系當做抗病親本與感病優良品系雜交，而育成Monterey(1972)與Salinas(1975)二品種。回交Salinas的計劃仍然進行，最終目標是育成抗嵌紋病毒病的Salinas 取代舊品種。

育種過程中同時進行一系列的基礎研究，包括遺傳、連鎖關係、種子傳帶病毒、及環境對抗病性的影響。

田 間 技 術

育種材料田間種植方法應儘量與商業栽培管理相同，加州地區萵苣通常種植二行在 100cm 寬的高畦，用加膜(coated)的種子以機械播種。萵苣是要灌溉的作物，播種後用噴灌，間苗後改溝灌。肥料施用以氮磷肥為主。育種試驗一般採單行或雙行畦，距離 70 公分，株距 25 公分，單行區較容易調查，特別適合早世代的材料，不過兩行區系統是商業栽培採用的種法。

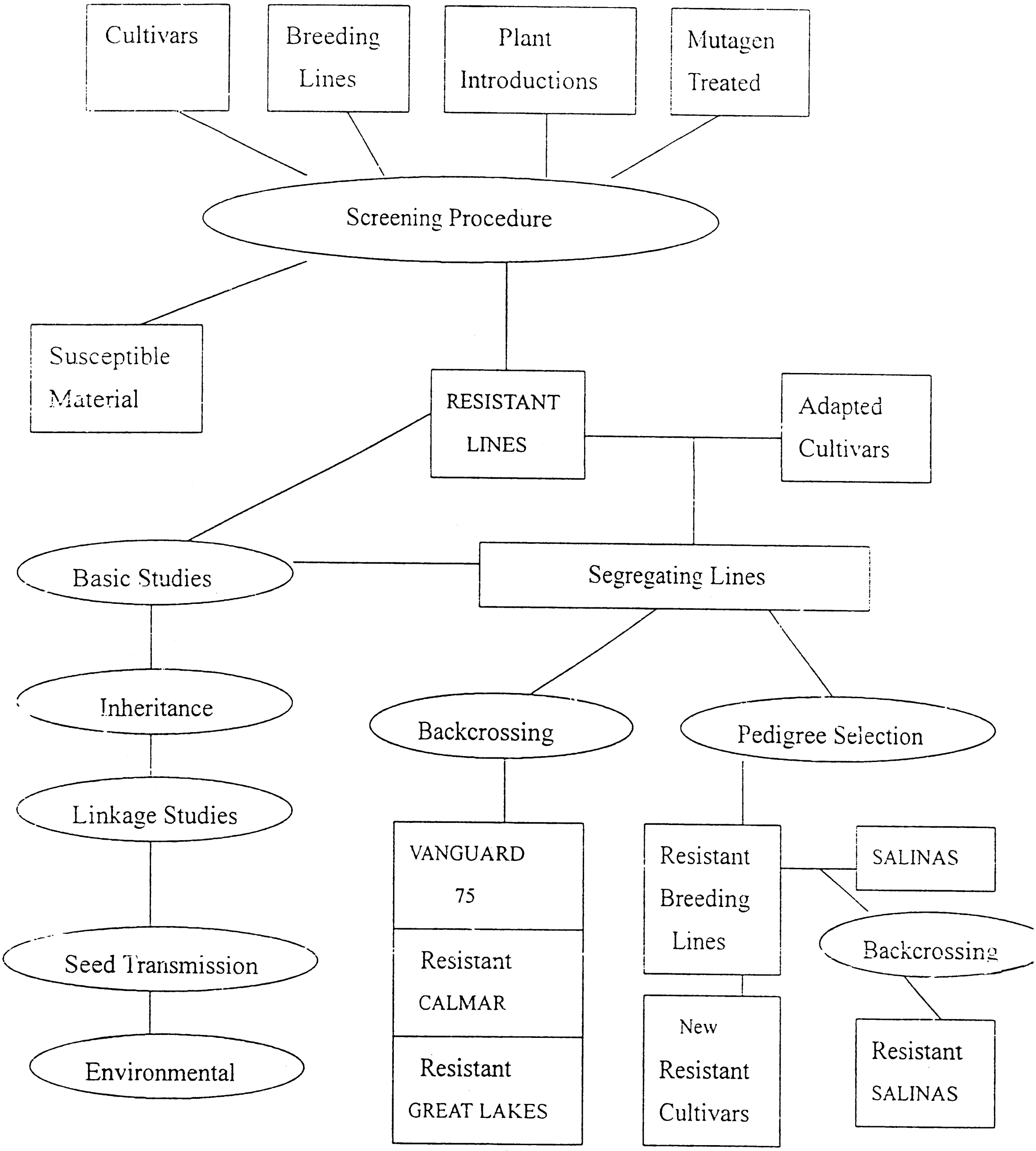


圖2.萵苣抗嵌紋病毒病育種流程 (來源：Ryder 1986)

Fig 2. Flowchart showing progress of breeding program for lettuce mosaic resistance.

Rounded boxes show procedures; rectangles show materials used.

快速評估是特別重要的，因為萵苣適當成熟期間很短，未成熟或過熟的葉球都不適合正確的評估顏色、大小、球形或頂燒病反應。在田間試區管理方面，雜草用殺草劑防除，適當噴藥防治蚜虫、擬尺蠖、金針虫等虫害，偶爾也用殺菌劑防治偶發病害問題。溫室主要虫害有紅蜘蛛、粉蝨、蚜虫等，通常每週噴藥一次。

高級品系的田間試驗

培育萵苣品系以適應特殊環境，一年可種植三季選拔：春季、夏季、晚夏。到了F_5、F_6、F_7世代後，有希望的品系可放入翌年的田間試驗。參與的品系數4-48，試驗早期品系數較多，晚期減少至核心數目，以便重複試驗較廣泛的環境。重複次數1至4次，與參試品系數相反，即品系數多，重複次數少。

田間試驗的目的是測定產量，評估園藝性狀與適應能力。產量估定相當複雜，因為萵苣的植株有的可以收穫有的不能收穫。不能收穫的植株包括有(1)病害株，(2)異型株，(3)晚發芽無結球株，(4)自然受損株等。可採收植株又包括(1)過熟株必須拋棄的，(2)形狀好的成熟株，(3)未成熟株，(4)拙劣成形株等。在可收穫種類植株百分比而真正採收的就是產量估算。第一次採刈百分比是早熟與整齊程度的指標，但受貨主及市場狀態的影響，因此萵苣的產量有一定的變異，也受生物環境以外因素的左右。

園藝性狀的評估與品系間的比較，廣泛的講包括大小、顏色、早熟度、葉球形狀、外葉包球、中肋特性及內部性狀如莖長、內葉顏色等，品系對一般環境適應性反應，如果反應不良，葉球不是太小或太大，就是遇有熱的氣候即抽苔或發生頂燒病，不然就表現在可以收穫葉球的數量上。

高級品系試驗也可以在田間檢定抗病性，例如巨脈病每年春季試驗自然發病情形很可靠，根據葉脈透明度與其他病徵即可檢定。高級品系試驗的目的是決定有否好的品系可以推出。經過早期淘汰留下來的品系，經常保留在試驗中五年，有廣泛適應性的品系，經過不同環境的重複試驗，育種家可預測某種環境下那一個品系的表現會最好。新品種Salinas 育成及田間試驗程序的例子請參考表5。

新品種育成推出的最後程序是種子生產，生產的種子一部分供給大面積的試作，一部分供給有資格的種子公司。利用種子生產的機會，估定有否種子生產上問題，通常問題很少發生於萵苣。過去幾乎所有的萵苣品種的育成與釋出，均由公家機構負責，私人種子公司多半從事由現存品種的選種。

表5. 萵苣新品種Salinas之育成過程

Table 5. Breeding, Selection, and Trial Sequence Leading to Release of Salinas

Phase	Year	Parents and selections	Comment
Breeding	1962	Calmar 8830	8830:*L. virosa*-derived breeding line
	1966	66-93	F_4, selected 10 plants
	1967	67-345(66-93-8)	F_5, selected 10 plnats
Selection and testing	1968	66-93-2,-8,-9	Trial of parent lines
	1969	66-93-2,-8,-9	Trial of parent lines
	1970	66-93-2,-8,-9;67-345-1, 2,-4,-5,-6,-7,-8,-9,-10	Three trials; parent lines and selections; selection among 67-345 lines
Testing	1971	67-345-7	Found to be tipburn free in mechanical-harvest trial
		67-345-7 sublines	Summer trial to test for tip-burn resistance
	1972	67-345-7 sublines	Seven trials, evaluated for tipburn and yield
	1973	67-345-7 sublines	Nine trials
	1974	67-345-7-6	Twelve trials plus eight trials by grower
Release	1975	Salinas	

參考文獻

1.何康、劉瑞龍 1990 中國農業百科全書 蔬菜卷 農業出版社 北京 中國

2.王 素 、王德檳 胡是麟 1993 常用蔬菜品種大全 北京出版社 北京 中國

3.鍾維榮 1991 萵苣育種程序及實施方法 蔬菜作物育種程序及實施方法 台灣省農林廳編印 pp. 124-130.

4.Bonnier, F.J.M., Reinink, K. and Groenwold, R. 1992. New sources of major gene resistance in Lactuca to *Bremia lactucae*. Euphytica. 61(3):203-211.

5.Bos, L., and Huijberts. 1990. Screening for resistance to big-vein disease of leltuce (*Lactuca sativa*). Crop Protection. 9:446-452

6.Crute, I.R. 1992. The role of resistance breeding in the integrated control of downy mildew (*Bremia lactucae*) in protected lettuce. Euphytica. 63(1-2):95-102.

7.De Vries, I.M. 1997. Origin and domestication of *Lactuca sativa* L.Genetic Resource and Crop Evolution 44(2):165-174

8.De Vries, I.M. 1990. Crossing experiments of lettuce cultivars and species *(Lactuca sect.* Lactua, Compositae). Plant Syotematics Evolution. 171(1-4):233-248.

9.Matsumoto, E. 1991. Interspecific somatic hybridization between lettuce *(Lactuca sativa)* and wild species L. virosa. Plant Cell Report. 9(10):531-534.

10.Nagata, R.T. and Stratton, M.L. 1994. Development of an objective test for tipburn evaluation. Proceedings Florida State Hort. Society. No. 107:99-101.

11.Pearson, O.H. 1962 A simplified method for emasculating lettuce flowers. Veg. Imp. Newsl. 4, 6.

12 Robinson, R.W., McCreight, J.D., and Ryder, E.J. 1983. The genes of lettuce and closely related species. Plant Breed. Rev. I, 267-294.

13 Ryder, E.J. 1995. Big-vein resistance in lettuce: identifing, selection, and testing resistant cultivars and breeding lines. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120(5):741-746.

14.Ryder, E.J. and Waycott. W. 1994. Crisphead lettuce resistant to corky rot: cultivars Glacier and Misty Day and 16 resistant breeding lines. HortiScience. 29(4):335-336.

15.Ryder, E.J. 1992. Lettuce genetics: inheritance, linkage, and epistasis. J.Amer. Soc. Hort. Sci. 117(3):504-507.

16.Ryder, E.J. 1986. Lettuce breeding. In: Breeding vegetable crops. Bassett, M.J. (ed.) AVI., Westport, Connecticut. pp. 433-474.

17.Ryder, E.J. 1982. Genetic studies in lettuce. HortScience. 17(3II):504.

18.Ryder, E.J. 1981. "Sea Green" lettuce. HortScience. 16:571-572

19. Ryder, E.J. 1981. "Thompson" lettuce. HortScience. 16:687-688

20.Ryder, E.J., and Whitaker, T.W. 1980. The lettuce industry in California:A quarter century of change, 1954-1979. Hort. Rev. 2:164-207.

21.Ryder, E.J. 1979 "Salinas" lettuce. HortScience 14:283.

22.Ryder, E.J., 1979 "Vangard 75" lettuce. HortScience 14:284-285.

23.Ryder, E.J. 1976 The nature of resistance to lettuce mosaic. In:Proceeds. Of the Eucarpia Meeting on Leafy Vegetables, Wageningen, Holland, 15-18 March 1976. Pp. 110-118.

24.Stratton, M. L. and Nagata, R.T. 1993. Preliminary determination of parameters to develop and objective procedure for assessing tipburn in lettuce. Proceeds Florid State Hort. Soc. No. 106: 157-159.

25.Whitaker, T.W., and Mc Creight, J.D. 1980 "Centennial" lettuce. HortScience. 15(4):532-533.

蔬菜組織培養技術

張有明

台灣省農業試驗所

植物組織培養的定義：

利用植物具有分化全能(totipotency)的特性，在人為調控的無菌環境下，供應人工調配的養分，進行植物器官、組織或細胞培養的一種技術。

組織培養在蔬菜上之應用：

一、基本的研究：

1.提供組織、器官發生之研究。

2.遺傳(體細胞遺傳)上之研究。

3.寄主、病原菌間相互關係之研究。

二、經濟上的利用：

1.作物品種的改良—

(1)珠心胚及未成(雜交)熟胚培養。

(2)自然突變或人為誘變育種。

(3)花藥或小孢子培養等單倍體育種。

(4)原生質體培養—體細胞融合之雜交育種。

(5)植物基因轉移的應用。

2.無病(毒)苗的生產

3.無菌播種或營養系的大量繁殖

4.育種材料或種原的保存與交換

組織培養的配備：

一、設備與器具：

1.操作室：可放置純水製造機(或蒸餾水製造器)、高溫高壓殺菌釜、冰箱、水槽等。

2.接種室：放置無菌台等、超音波振盪器、解剖顯微鏡.....等。

3.培養室：培養材料、振盪器等放置室，可控制不同的溫度、光線等培養條件。

4.精密儀器室：放置解剖顯微鏡、倒立顯微鏡、高倍率光學顯微鏡、 pH 測定計、精密天平與離心機等。

5.藥品保存室：乾燥冷涼之場所，保存可放置室溫的藥品。

6.作業室：調配及分裝培養基的場所

7.所需器具：玻璃器皿—試管、三角瓶、培養皿…等，操作工具—解剖刀、鑷子、剪刀、挑針…等，及消毒、擦拭和標示…等用品。

二、培養基成分：

1.水：二次蒸餾水或去離子水。

2.無機鹽類—

大量元素： N,P,K,Ca,Mg,S …

微量元素： Fe,Mn,Zn,Cu,Cl,Co,Mo,B,I …

3.有機鹽類—

維生素或有機酸類：thiamine HCl, pyridoxine HCl, nicotinic acid, folic acid, ascorbic acid, Vitamin A, Vit. B_{12}, Vit. D_3；malate, citrate…等。

氨基酸類： Glutamine, Glycine, Tryptophan 等。

複合有機物： Casein hydrolysate, Yeast extract, Malt extract, Ginseng powder, Calf serum, 椰子汁、香蕉泥、蘋果泥…等。

4.碳源：蔗糖、葡萄糖、果糖、甘露蜜醇(mannitol)、木酮糖(xylose)、山梨醣醇(sorbitol)、肌醇(inositol)…等。

5.植物生長調節劑：

生長素類(auxins)： IAA, NAA, IBA, 2,4-D, picloram, PAA (penylacetic acid)…等。

分裂素類(cytokinins)： kinetin, BA, 2ip, thidiazuron, zeatin, BPA,…等。

其他生長調節劑：激勃素(gibberellins), ABA, CCC, C_2H_4, ancymidol, colchicine, jasmonic acid …等。

6.固態培養：洋菜(agar),gelrite, agarose …等。

7.其他添加物：活性碳(charcoal), PVP, MES(2-[morpholino] ethanesulfonic acid)…等。

8.常用之基本培養基配方—

Knudson C (1946)

MS (Murashige & Skoog, 1962)

White (1963)

Nitsch & Nitsch (1967)

B5 (Gamborg,1968)

SH (Schenk and Hildebrandt,1972)

N6 (Chu,1975)

Kao & Michayluk (1975)

WPM (Lloyd and McCown,1980)

三、培植體：

分生組織 (meristem)(生長點)—莖頂、側芽、葉尖、根尖…等。

生殖器官—花藥、胚珠、珠心、子房、花梗、花蕊或花序…等。

具再生能力之組織或器官：莖段、葉片、葉柄、珠芽、鱗片、走莖(rhizome)或根段…等。

四、滅菌方法：

培養基與培養器皿：高溫高下滅菌 (121 ℃ , 1.05 kg/cm^2, 15-25 mins)。

操作器具：酒精擦拭、噴灑及酒精燈熱燒或紫外線照射。

培植材料：種植在乾淨環境(如溫室中)，採摘培植體前先進行病蟲害防治；培植體的表面滅菌—75%酒精、次氯酸鈉、雙氧水或抗生素…等。

五、培養環境：

溫度：一般約 25±2℃，但依作物不同會有變化。

光強度：培養—暗培養或 1000-3000 lux 光照，健化時提高光照—3000-10000 lux 。

光週期： 12-16 hrs 較普遍。

光質：日光燈，植物生長燈。

微氣候：封蓋種類、封閉程度和材質。

實 習 操 作：

供試材料

一、甘藍花藥培養：

1.莖粗一公分以上的甘藍植株，可進行低溫春化處理(5-8 ℃約一個月)

2.當抽苔後，摘取 3-4 公分長的花序頂端(只有花蕾不含已經開的花)；摘除尖端小花蕾，用紗布包好。

3.置乾淨的燒杯中，先以70-75%酒精消毒 30 秒，再用無菌水清洗 2-3 次。

4.換上加有數滴 tween 20 的 1%次氯酸鈉(約稀釋 5 倍的 chlorox)溶液，置超音波震盪器中處理 3-5 分鐘，接著用無菌水清洗 2-3 次；同樣步驟重複兩次。

5.消毒過的材料置無菌操作台中，摘下大小 2-4 mm 的花蕾，用鑷子剝去外苞片，每剝一次鑷子就要消毒一次。

6.露出花藥，將花藥取下，置入平放在培養基上，花藥開裂線向下。

7.每一試管放入 6-10 個花蕾後封口，並標示日期、品系及處理代號。

8.置 37 ℃高溫下暗處理 1-2 天，再移到的 25±2 ℃培養室中暗培養。

二、原原種馬鈴薯的繼代培養

1.在無菌操作台上，由原培養試管中取出馬鈴薯枝條；置於滅菌過的培養皿中，每 1-2 公分切成一小段，每段至少有兩個節以上(內含有兩個以上側芽)。

2.將切下之莖段，移至新的培養基中，約埋入三分之一的莖段。

3.燒管口及鋁箔封紙，再以鋁箔紙封好口並標示日期、品系....等。

培養基的配製

一、調配母液：

Murashige 和 Skoog (1962) 配方

	1 X	10 X	50 X
1.NH_4NO_3	1,650 mg/l	16,500 mg/l	82.5 g/l
KNO_3	1,900	19,000	95.0
2. $MgSO_4.7H_2O$	370	3,700	18.5
$ZnSO_4.7H_2O$	8.6	86	0.43
$MnSO_4.4H_2O$	22.3	223	1.115
$CuSO_4.5H_2O$	0.025	0.25	0.00125
3. $CaCl_2.2H_2O$	440	4,400	22.0
KI	0.83	8.3	0.042
$CoCl_2.6H_2O$	0.025	0.25	0.00125
4. KH_2PO_4	170	1,700	8.5
H_3BO_3	6.2	62	0.31
$Na_2MoO_4.2H_2O$	0.25	2.5	0.013
5. Na_2-EDTA	37.3	373	1.865
$FeSO_4.7H_2O$	27.8	278	1.39
6. Thiamine-HCl (B_1)	0.4	4	0.02
Nicotinic acid (F)	0.5	5	0.025
Pyridoxine-HCl(B_6)	0.5	5	0.025
Glycine	2.0	20	0.1
7. Myo-inositol	100	1000	5
8. Sucrose	30,000		
9. Agar	9,000		
10.高壓殺菌前的 pH 值 =5.7±0.1			

二、濃度的換算：

1. 摩爾濃度(M):

$$1\ 摩爾濃度(M) = \frac{1\ 摩爾重量(克)}{1\ 公升的蒸餾水}$$

2. mg/l (ppm):

$$1\ mg/l = \frac{1\ 毫克(mg)的藥品重}{1\ 公升(l)的蒸餾水}$$

3. 由摩爾濃度 (M) 轉換成 mg/l (ppm):

摩爾重量(克)×摩爾濃度(M)× 1000 = mg/l (ppm)

4. 從母液稀釋到所需要的濃度和溶液量:

$m_1 \times V_1 = m_2 \times V_2$

(m =濃度, V=體積, $_1$=母液, $_2$=所需要的溶液)

三、配製培養液步驟：(以配製 1 公升的 MS 培養基為例)

1.母液(stock solu.)一般是配製成 50 或 100 倍；不耐高溫消毒物質者(如 zeatin, GAs …等)的母液配製，要用 0.45 μm 以下的微孔過濾膜(millipore)過濾，並裝入經高溫高壓殺菌過的無菌瓶中《※均要在無菌操作台中執行》。

2.取 1.5-2 公升大小的燒杯，先只加入 500-600 毫升的蒸餾水或去離子水。

3.第一步先加入無機鹽類(1-5)母液，取的量、稀釋的原則和方法依照步驟二濃度換算進行。

4.再加入有機鹽類(6,7)母液。

5.加入生長調節劑(auxins, cytokinins,…等)和其他成分(例如： peptone, casin hydrolysate, yeast extract,香蕉泥,蘋果泥…等)《※ 但不能耐高溫高壓消毒者須除外》。

6.攪拌完全均勻後，再加入蔗糖或葡萄糖…等糖類。

7.最後加入蒸餾水到總體積近 1 公升的量。

8.用 1N 的 HCl 或 NaOH,KOH 將 pH 值調到 5.7±0.1 。

9.若為固態培養基則加入洋菜粉…等，並利用微波爐加熱將洋菜融解。

10.分裝至試管、培養皿或三角瓶中，並標示之《※ 需加入不耐高溫消毒物質者可暫時不必分裝》。

11.置高壓殺菌釜中，進行 121 ℃(15 lb/in^2)的高溫高壓殺菌 15-20 分鐘；器皿消毒可延長 10-20 分鐘時間。

12.殺菌後迅速取出直立或斜放至所需的斜面或角度，使冷卻至室溫，並標示之。

13.需加入不耐高溫物質的培養基，則當溫度冷卻至 60 ℃以下時迅速加入不耐高溫物質並攪拌均勻後，再分裝至試管、培養皿或三角瓶中(均要在無菌操作台中執行)。

14.配好的培養基暫時不用可包封，置 10℃以下，約可保存 3-6 個月。

附表一　組織培養所需之基本設備、儀器及藥品

設備、儀器或藥品	參　考　價　格
無菌操作(接種)台	單人操作約 2 萬元，2-3 人操作約 5-6 萬元
高溫高壓殺菌釜	中型約 3-4 萬元，大型約 10-20 萬元
蒸餾水製造機	約 5-10 萬元，亦可用逆滲透(RO)濾水器(約 1-2 萬元)代替或向蒸餾水製造商買蒸餾水
微量天平	小數點二位以下(約 3-8 萬元)
酸鹼值測定器(pH 計)	簡易型約 2000-4000 元
解剖顯微鏡	簡易型約 2-4 萬元(視需要採購)
液態培養震盪器	大型，價約 5-6 萬元(視需要採購)
冷氣機	市價(依坪數大小)
大型冰箱	家用冰箱即可(需含有冷凍室，以不自動除霜者為佳)
培養架	角鋼組合(1.5 公尺 x 0.6 公尺 x 2 公尺)五層，連網架、燈座每組約 8000-12000 元
試管及試管架(壓克力材質)	試管約 5 元/支，試管架約 50 元/個(可放 10 支試管)
三角瓶(蘭花瓶)	蘭花瓶每支約 8-10 元
玻璃培養皿	約 15-20 元/個
培養基(液態)分裝器	一支約 2000-3000 元
量筒	20,50,100,250,500,1000 cc 各 2-3 組
燒杯	100,250,500,1000,2000 cc 各 3-5 組
玻璃瓶	500,1000,2000 cc 各 3-5 組保存母液或濃縮(stock)液
酒精燈及支架	約 200-300 元/組
鋁箔紙	約 60-90 元/卷
鑷子、剪刀、解剖刀	常用解剖刀片 10,11,21 號，刀柄 3,4,7 號(依需要選號)
95%酒精	公賣局約 40 元/公升
蔗糖	台糖的「細粒白特砂」可也
MS 鹽類	Sigma 公司有配好的大量及微量元素混合液販售
漂白劑(Clorox)	5%次氯酸鈉，約 15-20 元/公升
活性碳	粉末狀
洋菜粉	2500-3500 元/磅或水晶洋菜(gerlite) (Sigma)
花寶(Hyponex)一號	(N:P:K=7:6:19)台和園藝公司賣
植物生長調節劑(賀爾蒙)	NAA, IAA, IBA, Kinetin, BA, 2,4-D, GA_3,…
其　它	消毒網籃、耐高溫消毒袋、棉花、橡皮筋、紗布、濾紙、電源插座、油性簽字筆、棉手套、標示帶、…

附表二　　荷爾蒙溶解方法

藥　品	常用母液濃度	溶解條件
2.4-D	100mg/l	95% Alc.
2.4.5-T	100mg/l	95% Alc.
2ip (millipore 較佳)	100mg/l	1N NaOH
ABA (millipore)	100mg/l	1N NaOH
BA	100mg/l	1N NaOH
BPA [n-Benzyl-9-(2-tetrahydropyranyl)-adenine]	100mg/l	95% Alc.
GAs (millipore)	500mg/l	1N NaOH
IAA (millipore)	100mg/l	95% Alc.
IBA(millipore 較佳)	100mg/l	1N NaOH
Jasmonic acid (millipore)	500mg/l	95% Alc.
Kinetin	200mg/l	0.5N HCl
NAA	200mg/l	1N NaOH
Picloram (似 2.4-D)	100mg/l	100% Alc.
TIBA (2,3,5-Triiodobenzoic acid)	100mg/l	1N NaOH
Zeatin (millipore)	200mg/l	1N NaOH

聚合酶連鎖反應技術

許 華 欣

台灣省農業試驗所

一、DNA 萃取 (DNA Extraction) (本法修飾自 Dellaporta, S. L., J. Wood, and J. B Hicks. 1983. A plant DNA minipreparation.: version II. *Plant Mol. Biol. Rep.* 1(4): 19-21)

(一)所需藥品及其配置：

1. 液態氮
2. EB(extraction buffer)緩衝液：
   100mM Tris pH 8.0 ， 50mM EDTA pH 8.0 ， 500mM NaCl ， 10mM mercaptoethanol (抗氧化劑，處理時再添加，避免揮發)
3. 20% SDS
4. 5M potasium acetate
5. phenol
6. chloroform : isoamyl alcohol = 24:1
7. TE 緩衝液：
   10mM Tris · Cl (pH 8.0),1mM EDTA (pH 8.0)
8. 3M sodium acetate
9. 80% 酒精

(二)操作步驟：

1.摘取葉片約 0.5 至 0.75 克，添加液態氮且磨成粉末狀後，將粉末移至 30ml 離心管中。

注意： 1.添加 EB 緩衝液前，勿使組織解凍，否則易導致細胞解離，且釋放內生核酸分解酵素，進而分解 DNA 。 2.由於液態氮蒸發快速，故在液態氮未蒸發結束前，可置放於凍箱中保持溫度，勿上蓋。

2.加入 15ml 的 EB 緩衝液並混勻之。

3.添加 1ml 的 20% SDS ，經混勻之後培養於 65 ℃中 10 分鐘。

4.室溫下添加 5ml 的 5M potassium acetate，混勻後培養於 0 ℃凍箱中 20 分鐘。

注意： potassium acetate 會與蛋白質以及多醣類形成 potassium dodecyl sulfate ，而沉澱下來。

5.以 25,000 × g 的離心轉速離心 20 分鐘，利用不織布將沉澱物與上清液分離，從而將上清液過濾至另一個離心管中。再添加 10ml isopropanol ，混勻後培養於 -20 ℃凍箱中 30 分鐘，以利 DNA 的沉澱。

6.利用 20,000 × g 的離心轉速離心 15 分鐘，輕倒上清液，並將離心管於室溫

中倒放，處理 10 分鐘以晾乾 DNA 。

7.添加 0.5ml 的 TE 緩衝液於沉澱的 DNA 上，使之溶解後，進行酚洗 (phenol wash) 的步驟。

8.加入等量的 phenol ，充分混合後以 15,000 × g 的離心轉速離心 5 分鐘，取出上層液至另一乾淨的微量離心管中，勿吸取兩層間之蛋白質部分。

注意： 1. phenol 在配製時，其酸鹼度必須高於 7.8 ，否則 DNA 易於酸性環境中解離。 2. 配製 phenol 時可添加 hydroxyquinoline 至最終濃度為 0.1%，此物質可作為抗氧化劑、 RNAase 的抑制劑、以及其黃色可作為辨識有機層的標示。 3. 利用 phenol 進行酚洗的工作可以有效的移除核酸內的蛋白質，此步驟可重複至無蛋白質殘留於水層與有機層間。

9.重複步驟 8 之程序，但以半量 phenol 和半量 chloroform : isoamyl alcohol (24:1) 取代等量的 phenol.

注意： chloroform 可將蛋白質由 DNA 移除，亦可去除 phenol 在 DNA 的殘留。另外 isoamyl alcohol 則可再萃取時減少泡沫的產生。

10.重複步驟 8 之程序，但以等量 chloroform : isoamyl alcohol (24:1) 取代等量的 phenol..

11.將上清液轉移到另一乾淨的微量離心管中並添加 0.3 倍的 3M sodium acetate 以及 1.5 倍的 -20 ℃無水酒精，輕輕混勻使之混合，此時應有白色懸浮狀的 DNA 及小氣泡。若不明顯，可放置於 -20 ℃後約 30 分鐘，再行檢視。

注意：此步驟可將大分子的 DNA 由多醣類中分離出，且使 DNA 形成緊密的沉澱，易於清洗與乾燥。

12.以 15,000 × g 的離心轉速離心 15 分鐘，去除上清液，再以 70-80%酒精清洗 DNA ，隨之重複離心，收集 DNA ，倒掉上清液。晾乾 DNA 後，再利用 100 μ l 的 TE 緩衝液溶解 DNA ，貯存於 -20 ℃ 凍箱中備用。

二、聚合酶連鎖反應 (**P**olymerase **C**hain **R**eaction ； PCR)(本反應利用毛細管 PCR 方法)

(一)藥品配置：

1. 酵素稀釋液

   10mM Tris (pH 8.3)， 2.5 mg/ml BSA

2. 10 × PCR 緩衝液

   10mM Tris (pH 8.3)， 2.5 mg/ml BSA ， 30mM $MgCl_2$

(一)操作步驟： (注意：所有步驟均在冰上進行，約 0 - 4 ℃)

1. 將 5U/μ l Taq 聚合酶以酵素稀釋液稀釋至 0.4U/μ l ，備用。
2. 20 μ l 的反應液中含 20 ng 的模板 DNA ， 9 pg 的引子， 2 μ l 的 10 × dNTP ， 2 μ l 的 10 × PCR 緩衝液， 0.8 U 的 Taq 聚合酶以及 10 μ l 的無

菌水，經混勻後，將反應液裝入毛細管中，進行 PCR 反應。

PCR 反應條件如下：

DNA 兩股分開 (Denature)	→	引子接合 (Annealing)	→	複製並延長 (Extension)
94 ℃，70 秒		42 ℃，17 秒		72 ℃，1 分 20 秒

2 個循環

↓

94 ℃，10 秒	42 ℃，17 秒	72 ℃，1 分 20 秒

35 個循環

↓

72 ℃，4 分

反應結束後，取出 DNA ，進行電泳分析。

三、電泳分析 (Electrophorisis Analysis)

(一)藥品配置：

1. 6 × dye

40% (g/ml) sucrose, 0.25% (g/ml) bromophenol blue

2. 電泳緩衝液：10 × TPE

0.89M Tris base, 0.026g/ml phosphoric acid , 0.02M EDTA (pH 8.0)

3. 電泳緩衝液：1 × TPE

由 10 × TPE 稀釋十倍即可

注意：1. 電泳緩衝液除了 1 × TPE ，尚有 1 × TBE (0.045M Tris -borate, 0.001M EDTA)、1 × TAE (0.04M Tris-acetate, 0.001M EDTA)以及 Alkaline (50mN NaOH, 1mM EDTA)，其功用為在電泳分析時，提供離子的傳導，促使 DNA 移動。2. 電泳緩衝液所提供之離子傳導對 DNA 的移動非常的重要，若缺乏離子(如以水代替電泳緩衝液，電流傳導將降到最低， DNA 將移動非常緩慢)，若離子濃度過高(如以 10 × 電泳緩衝液取代)，電流傳導將過快且所產生的大量熱能，將使膠溶解並分解核酸。

4. 0.8%瓊酯膠片

0.32g agarose ，40ml 1 × TPE ，0.125 μ g/ml EtBr

注意：1. 瓊酯膠(agarose)為由海藻所提煉得來，一般生化等級所用的瓊酯

膠雖已經純化，但仍有多醣類、鹽類及蛋白質的殘留，端看所需等級而定，不同等級的瓊酯膠也將影響 DNA 的移動以及其由膠中回收的量。 2. EtBr 使 DNA 顯色，由於其分子嵌合於 DNA 結構，使 DNA 於紫外光下可顯色， EtBr 為致癌物質，使用時必須小心。

(二)操作步驟：

1.取 10 μ l 的 DNA 與 2 μ l 的 6 × dye 混勻。

注意：添加 6 × dye 有三種目的，提高樣本的密度，使樣本可確實注入電泳膠片中；賦予樣本顏色，以了解電泳分析的進度，以及使樣本於電泳槽可有效的朝陽極移動。

2..將電泳槽內添加 1 × TPE 電泳緩衝液並放入 0.8%瓊酯膠片，注入 DNA 混合液於瓊酯膠片之槽內，以 100V 的電流，處理 40 分鐘，進行電泳分析。

注意： 1. DNA 於中性環境下帶負電，因此於電泳分析時會由陰極向陽極移動。 2. 瓊酯膠的濃度與電流的強度均會影響 DNA 的移動

3.於 365nm 紫外光下拍照並記錄。

注意：一般可用 254nm, 302nm 以及 365nm 波長的紫外光進行拍照，波長越短的紫外光，其 EtBr 所顯示的亮度越強，但是，對 DNA 所產生的傷害越大。因此，若 DNA 要回收時，以 365nm 波長的紫外光進行照射為最佳。

聚合酶連鎖反應實習所需工具與儀器一覽表

試驗名稱	工具	儀器
DNA 萃取	1. 研缽 2. 離心管 3. 不織布 4. 微量分注器 5. 微量離心管	1.水浴箱 (KS ， Shaking Bath SB303R) 2.0 ℃，-20 ℃凍箱 3.高速離心機 (HITACHI HIMAC ， Centrifuge SCR20BA) 4.微量離心機 (HERMLE Z233MK)
聚合酶連鎖反應	1. 毛細管 2. 微量分注器 3. 微量離心管	1.毛細管 PCR 儀器 (Idaho Technology, Air Thermo-Cycler 1605)
電泳分析	1. 微量分注器 2. 微量離心管	1.微量電泳槽 (COSMO BIO ， Mupid®-2) 2.紫外光電泳膠片觀察儀 3.手提式照相設備

蔬菜細菌性病害之接種技術

許 秀 惠

臺灣農業試驗所

在整個自然界中，到處都有細菌的蹤跡，如空氣中、水中、人、動植物表面或體內等，但是大部份的細菌是腐生的(saprophytic)，不會引起植物病害，只有小部份的細菌是植物病原細菌，可引起植物病害，目前已發現可感染植物的病原細菌約有 200 多種 ，除少數外，大部分的植物病原細菌為桿狀，大小約0.5-1.0 x 1.0-4.0 um；細菌為單細胞，構造簡單，必需用光學顯微鏡，在 1000 倍的放大倍數下才能觀察其菌體，也可用電子顯微鏡觀察菌體形態及構造。

通常植物病原細菌可分泌果膠分解酵素(pectic enzymes)或纖維分解酵素(cellulolytic enzymes)來分解或破壞植物組織，或者形成細胞外多醣體(extracellular polysaccharides)或產生毒質(toxins)影響植物體內水份或養分之輸導系統，或干擾植物生長激素 (plant growth hormones)之平衡，而使植物細胞異常分裂或生長等。但植物病原細菌不像病原真菌具有侵入構造，無法直接自植物表層細胞侵入植物體內，必需藉由傷口(如風雨、人、昆蟲或線蟲等因素造成的)或植物的自然開口(如氣孔、水孔、皮目、葉痕或蜜管等開口)進入，若此時環境條件適合，則植物病原細菌可進入植物體內造成感染並在植物體內迅速繁殖，就能引起植物細菌性病害。

簡而言之，植物之所以會發生病害，一定要有三大因子同時存在，即病原菌，感病的寄主及適合病原菌感染及病害發生的環境等。因此當我們進行人工接種試驗時如進行細菌病原性測定或寄主範圍測定或抗病篩選或抗病育種等，就必需同時兼顧此三因子，方能獲得成功的人工接種結果，或得到真正抗病的品種。今分別就此病害發生三要件：接種源，植物及環境條件等逐一說明進行人工接種試驗時所應注意之事項。

一、接種源：

細菌可造成植物病害主要是因為具有病原性(pathogenecity)，因此我們在選定供試之菌株時首要留意的是此菌株是否具有病原性？又其毒力(vilurence)之強度如何？另外，部份病原細菌具有不同的生理小種(race)，而不同的生理小種其對不同的寄主植物有不同的致病能力或毒力，甚至不同的生理小種對同一種寄主其致病能力或毒力也有所差異，因此選定供試菌株之前必需對此病原菌之病原性及生理小種等特性有所了解方能正確選擇，若所選菌株為弱毒力之菌株將使我們選出之植株不是真正抗病的植株，或接種時只用一種生理小種進行試驗而沒有測試其他生理小種，則所選出之植株將對該病原菌之其他生理小種可能不具抗性而造成問題，因此供試菌株之選擇非常重要。

植物病原細菌在人工培養過程中仍可維持其病原性，但是有些細菌若在培養基上培養時間太長有時會失去毒力，當然我們可利用不同方法培養菌株而不會失去毒力。倘若太老的菌株失去其毒力，我們或可將該菌株再接種至其原寄主後，再從該寄主分離細菌，則此細菌在寄主體內繁殖後或可再恢復其毒力。因此，選定供試之菌株後就必需了解該供試菌株培養的適當條件、培養的時間，方能獲得處於生長對數期(log phase)之病原菌，另外，接種源濃度也影響接種後病徵之表現，所以必需依所使用的接種方法調配適合的接種濃度。

二、植物：

一般要了解細菌病原性或寄主範圍時，供試植株之數量依品種純度特性而選擇適當的株數，通常每一個品種需準備 4 棵，而進行植物抗細菌性病害篩選或育種時，每一供試品種均需準備 10 株或 10 株以上。供試植株的株齡，生長階段，生理營養狀況等也是影響病害發生的因子，若植株年青、有活力，正是最適合接種的時期，一般認為較弱的植株會較感病，其實此觀念並不正確。另外，接種時選擇適當的接種部位，可使接種結果又快又正確，又能顯示真正的抗感性反應，且最好能同時接種一已知的感病及抗病的對照品種，可協助分析試驗結果。

一般而言，病原菌可在其感病寄主上引起典型的病徵，若在不親合性植物上則造成不典型病徵(即所謂的過敏性反應，hypersensitive reaction)，即會在接種部位或周圍形成壞疽，這種過敏性反應出現的壞疽病徵與病原菌在感病寄主上造成之壞疽病徵不同，一般過敏性壞疽出現的時間比典型的壞疽病徵出現得早，而且只有乾燥的特性不會有水浸狀現象；此種不典型過敏性的病徵會在病原菌與抗性品種，病原菌與非寄主植物，及無毒力的突變菌株與感病品種等幾種不親合性組合之間形成，但在病原菌與感病寄主之親合性組合之間則不會出現過敏性之壞疽。但當我們所使用之接種方法不當或其接種源濃度過高時也會引起過敏性壞疽，或感病寄主處於不適當的生物氣候下時，如植株太老，或是某些植物雖是感病但其子葉是抗病的，若我們接種子葉也會出現過敏性壞疽，當然，若供試之病原菌失去其毒力，也會出現過敏性壞疽。

三、最有利於植物感染之環境條件：

植物病原細菌除經由自然開口進入植物體內外，最重要的是靠傷口侵入植物體內，因此除了引起斑點型病徵之病原菌外，若想成功地進行人工接種則最好能提供病原菌新鮮的傷口，對於萎凋型維管束病害則需提供病原菌一個能深至維管束之傷口，而對於癌腫病菌(*Agrobacterium* spp.)引起之腫瘤病害，一定要提供新鮮的傷口，癌腫病菌才能感染並增生形成腫瘤病徵。

通常適合植物生長的環境也是適合病原細菌感染及病害發生的環境。環境因子不但影響寄主本身，也影響病原細菌甚大，其中溫度和濕度為最主要的因子，一般而言，溫暖潮濕的環境是細菌性病害發生最有利的環境，當溫度升高尤其高至對寄主植物有壓力時，再加上高濕(80-90%以上)的環境，則細菌容易侵入並造成感染，植物表面若有水膜時，細菌可藉著水膜從殘存的植物體表面移至靠近的傷

口或自然開口處，再加上相對濕度高時(80-90%以上)植物氣孔會打開，則細菌經由氣孔侵入感染的機會增加，而且高濕的環境下可使傷口新鮮度維持較長的時間，有利於病原菌侵入感染。因此要能成功地完成人工接種，就必需提供該病原菌侵入感染的最佳環境。但對少數低溫之細菌性病害若提供高溫的環境則病害不會發生，另外，若接種後植株放置之環境突然溫度下降至非常低溫，則可能造成病徵延遲或甚至不發病的現象，濕度的變化也會造成同樣的問題。

目前臺灣蔬菜作物上之重要細菌性病害有十字花科黑腐病(*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*)、茄科細菌性斑點病(*Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* 或 *Xanthomoas vesicatoria* ，原為 *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*)、西瓜果斑病(*Acidovorex avenae* subsp. *citrulli*)、細菌性軟腐病(*Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* 或 *Erwinia chrysanthemi*)、馬鈴薯輪腐病(*Clavibacter michhiganensis* subsp. *sepedonicus*)及茄科青枯病(*Ralstonia solanacearum* ，原為 *Pseudomonas solanacearum*)等。而用於植物接種的方法頗多，如噴灑(spraying)，壓力噴灑(pressure spraying)，真空滲透法(vacuum infiltration)，磨擦接種(rubbing)，果實或莖穿刺法(fruit or stem pricking)，浸根法(root dippimg)，土壤混菌法(soil infestation)，根部傷害及土壤灌注法(root injury & soil drenching)，剪葉或剪莖法(leaf or stem clinpping)，注射法(syringe injection)，及傷口滴菌或抹菌法(dropping or smearing on wounds)等。一般而言，細菌所引起之病徵有葉斑(leaf spot)、葉枯或葉燒(leaf blight)、萎凋(bacterial wilt)、軟腐(soft rot)、腫瘤(gall)等，進行接種試驗時可依病原菌所造成之病徵不同及所需的試驗目的不同等因子而選擇適當的接種方法，目前臺灣蔬菜上已知之病害，可依其病徵不同將之分為斑點型，軟腐型及萎凋型等三大類病徵，今分別舉出幾種較常用之接種技術及應注意事項以供參考。

1.斑點型(如葉斑、果斑、葉枯等)病害之接種技術：

(1)噴灑法(Spraying)

此方法是最自然的接種方法，病原菌主要由氣孔進入，在植物細胞間隙繁殖而引起斑點狀病徵，但此種接種方法的病斑數並不恆定，因病斑數多寡取決於氣孔打開的頻率，因此接種後最重要的是需提供一個高濕度的環境，以增加病原菌侵入、繁殖，病徵發展及病害發生的理想環境；而此環境之光線若太強或太弱也不適當，需依植物不同而選擇適當的光照度，且一般光照的時間約12 - 14小時。另外，接種源濃度可高至10^8 cfu/ml，因為噴灑接種之病原菌主要由氣孔進入，所以不會因高濃度而造成不典型之病徵。

(2)壓力噴灑法(pressure spraying)

顧名思義，此方法與一般噴灑方法最大不同點在於壓力，因壓力噴灑法是藉由噴槍之壓力將細菌懸浮液噴灑至植株表面，此壓力同時會對植株造成極細小之傷口，而提供細菌更多侵入之機會，因此此方法出現之病斑數會較噴灑法多且分佈較均勻，但為避免噴槍之壓力過大而傷害植株之上表皮細胞，接種時需留意噴槍之壓力(約1.5 atm/cm)及噴槍與植株葉表之距離。另外，除接種濃度不可太高(約$10^{6\text{-}7}$cfu/ml)外，其餘條件與噴灑方法相同。

(3)浸泡或真空滲透法(dipping or vacuum infiltration)

浸泡滲透：將供試植株地上部浸於一種含有可減少表面張力藥劑之細菌懸浮液中約 30秒或一分鐘(依植物而定)，之後將供試植株放置適合發病之環境下。此種藥劑如L-77(Union carbide)，藥劑濃度為 0.02% (v/v)。接種源濃度約 $10^{6\sim7}$ cfu/ml。

真空滲透：將供試之植株整棵浸於細菌懸浮液中，並放置抽真空盒中，控制適當壓力下抽真空約 30秒或一分鐘(依植物而定)，之後將供試植株放置適合發病之環境下。接種濃度約$10^{6\text{-}7}$cfu/ml。

以滲透法接種所得之病斑相當均勻且病斑清礎，頗適合不同品種抗感性病斑之比較。

(4)磨擦接種法(rubbing)

通常以手指或消毒過之棉花沾細菌懸浮液直接磨擦葉表，或以細小如灰塵之金鋼砂先灑至葉表，再以手指或消毒過之棉花沾菌液磨擦葉表，之後將供試植株放置適合發病之環境下。接種濃度約10^6 cfu/ml。

2.軟腐型病害之接種技術：

(1)組織穿刺法(tissue pricking)

通常以細小蟲針或牙籤沾細菌懸浮液再穿刺先經表面消毒之白菜葉梗或馬鈴塊莖上；或先以蟲針或牙籤製造傷口，再將定量之細菌懸浮液滴於傷口處；或以微量吸管吸取定量之細菌懸浮液直接穿刺入供試組織內，並將此吸管留滯組織內；最後將接種完之供試組織放置保濕之培養皿內，觀察軟腐病菌之致腐能力。接種濃度為10^8 cfu/ml。

(2)莖穿刺或莖注射法(stem pricking of syringe infiltration)

以牙籤或細小蟲針沾細菌懸浮液，並穿刺於植株之莖上，需確定維管束部位已有傷口，否則只在接種處形成小斑。或以注射針將細菌懸浮液注入莖內，接種後將植株放置高濕及適當的環境下。接種濃度為$10^{6\sim7}$ cfu/ml。

(3)真空滲透法(vacuum infiltration)

對於大量的樣品如馬鈴薯薯塊之接種可於採收後直接將薯塊浸於細菌懸浮液中，以抽真空方式讓細菌滲透入薯塊內，之後置15℃下乾燥過夜，低溫處理後再種於溫室或田間觀察。接種濃度為$10^{6\sim7}$ cfu/ml。

3.萎凋型病害之接種技術：

一般造成植物萎凋之病原菌主要為害維管束，因此接種時必需讓病原菌進入植物之維管束部位，如經由莖、根或葉柄等處進入。一般輪腐病的接種環境通常溫度較低(約20 - 25℃)，青枯病較高(約30 - 32℃)，溫度太過高或太過低也會造成不典型病徵、病徵延遲或不出現病徵等現象。相對濕度影響病害發生及病勢發展，尤其是剛接種後的那段期間，相對濕度非常重要，因此接種後若將植物放置溫暖但乾燥的環境下，因病原菌不易進入維管束內則接種不易成功。接種源濃度高可加速病害發展，但需小心出現不典型病徵，一般若直接接種於植株之葉片、莖或子

葉等部位，其接種源濃度約需$10^{6\sim7}$ cfu/ml ，若直接接種於土壤中則需10^{7-9} cells/ml。

(1)莖穿刺或莖注射法(stem pricking of syringe infiltration)

是萎凋型病害常用之簡單且有效的接種方法，以細小蟲針或牙籤沾細菌懸浮液直接插入植物之莖內，或以注射針(No.25)將小量細菌懸浮液直接注射入植物莖內即完成接種，之後將供試植株放置適合發病之環境下。接種濃度為$10^{6\sim7}$ cfu/ml。

(2)剪葉或剪莖法(leaf or stem clipping)

此方法非常簡單方便，尤其測定萎凋型病害之病原性時，常使用此方法，只要將剪刀浸於細菌懸浮液中數秒鐘後，直接剪除植株之莖、葉片或葉柄，則病原菌可由傷口處進入維管束內造成感染，之後將供試植株放置適合發病之環境下。

(3)浸根法(root dipping)

於移殖時將植株拔出，小心抖掉土壤，再浸於調好濃度之細菌懸浮液內，則病原菌可經由側根之小傷口侵入感染，或用剪刀剪去側根尾端 1 - 2 cm，造成傷口後，再於細菌懸浮液中浸泡，浸泡所需之時間則視植物而異，之後將供試植株放置適合發病之環境下。接種濃度為$10^{6\sim7}$ cfu/ml。

(4)土壤混菌法(soil infestation)

是最自然的一種接種方法。通常於植株移殖時使用此種方法，因為移殖時將植株拔出會使植株側根出現小傷口，再立即種於已事先混合細菌懸浮液之土壤中，通常以菌：土壤＝1：10(V/W)之比例混合；接種後需維持土壤潮濕，以利於病原菌侵入感染。最後將供試植株放置適合發病之環境下。接種源濃度為10^8 cfu/ml。

(5)根部傷害或土壤灌注法(root injury or soil drenching)

是最自然、有效的一種接種方法。以小刀在盆栽植株根部切數刀使側根形成小傷口後，再灌注定量的接種源；接種後需維持土壤潮濕，以利於病原菌侵入感染。最後將供試植株放置適合發病之環境下。接種源濃度為10^8 cfu/ml。

(6)真空滲透法(vacuum infiltration)

將供試之植株整棵浸於細菌懸浮液中，並放置抽空盒中，控制適當壓力下抽真空約30秒或一分鐘(依植物而定)，之後將供試植株放置適合發病之環境下。接種濃度為$10^{6\sim7}$ cfu/ml。

總之，可用於植物細菌性病害之接種技術頗多，方法也相當簡單，但要得到確實且可信任的病原性測定結果、寄主範圍、抗病品種等資料，則必需先對病害發生之適當環境，病原菌之病原性、毒力、適當之培養條件、接種源濃度、生理小種及供試植株之最佳培養條件等資訊有所了解，並提供病害發生之最適條件，才能得到正確的結果，或選育出真正具抗病性的品種，方不會事倍功半。

蔬菜病毒病害接種技術

鄭 櫻 慧

台灣省農業試驗所

一、材料：

1.病毒：蕪菁嵌紋病毒（Turnip mosaic *Potyvirus* ; TuMV）之感病材料

2.供試植物：芥菜（*Brassica juncea*）

蘿蔔（*Raphanus sativus*）

紅藜（*Chenopodium amaranticolar*）

3.磷酸緩衝液（0.01M）：0.01M K_2HPO_4 以 0.01M KH_2PO_4 調至 pH 7.0

4.金剛砂（600 mesh）

5.研缽及缽棒

二、接種方法：

1.TuMV 可保存於芥菜（*B. juncea*）。

2.接種前先以金剛砂灑一薄層於供試植株。

3.取 1 克葉片研磨於 10 ml 0.01 M 磷酸緩衝液，以人工擦拭法接種於開展之葉片或子葉 2-3 個葉片。

4.以水洗去葉上殘留汁液。

5.置於溫室中觀察發病病徵，並以 ELISA 偵測病毒感染情形。

Indirect ELISA for Turnip Mosaic Virus（TuMV）

（from Clark M. F. and A. M. Adams. 1977. J. G. Virol. 34: 475-483）

1. 檢體葉片研磨於 20 倍之 coating buffer。每一微量穴加入 200 ul 之葉片汁液。
2. 37°C 靜置 2-2.5 小時或 4°C 冰箱靜置至第二天。
3. 甩掉汁液，注入 PBST 後靜置 3 分鐘，如此重複洗 3 次，最後於吸水紙上拍乾微量盤。
4. 一級抗血清（rabbit anti-TuMV serum）以 1000-3000 倍稀釋於 enzyme buffer，每一微量穴加入 190 ul。
5. 37°C 靜置 2-2.5 小時。
6. 清洗步驟同"3"。
7. 二級酵素連結抗血清（Alkaline Phosphatase-conjugated AffiniPure Goat Anti-Rabbit IgG (H+L)）以 5000 倍稀釋於 enzyme buffer，每一微量穴加入 180 ul。
8. 37°C 靜置 2-2.5 小時。
9. 清洗步驟同"3"。

10. 每一微量穴加入現配之酵素基質溶液 150 ul ，室溫下靜置至呈色對比明顯。酵素基質溶液為酵素基質（ρ-nitrophenyl phosphat ；ρ-NPP ）以 1 mg/ml 之濃度溶於 substrate buffer 。
11. 加入 30 ul 之 3M NaOH 停止反應。
12. 目測或以波長 405 nm 之吸光質測定呈色結果並記錄之。

Direct ELISA for Turnip Mosaic Virus（TuMV）

1. 抗 TuMV 血清（ rabbit anti-TuMV serum ）以 1000-3000 倍稀釋於 coating buffer ，每一微量穴加入 200 ul 之抗血清溶液。
2. 4°C 冰箱靜置至第二天或 37°C 靜置 2-2.5 小時。
3. 甩掉抗血清溶液，注入 PBST 後靜置 3 分鐘，如此重複洗 3 次，最後於吸水紙上拍乾微量盤。
4. 檢體葉片研磨於 20 倍之 extraction buffer。每一微量穴加入 190 ul 之葉片汁液。37°C 靜置 2-2.5 小時。
5. 清洗步驟同"3"。
6. 酵素鏈結抗體（ Alkaline phosphatase labeled anti-TuMV γ-globulin ）以 1000-3000 倍稀釋於 enzyme buffer，每一微量穴加入 180 ul 。 37°C 靜置 2-2.5 小時。
7. 清洗步驟同"3"。
8. 每一微量穴加入現配之酵素基質溶液 150 ul ，室溫下靜置至呈色對比明顯。酵素基質溶液為酵素基質（ρ-nitrophenyl phosphat ；ρ-NPP ）以 1 mg/ml 之濃度溶於 substrate buffer 。
9. 加入 30 ul 之 3M NaOH 停止反應。
10. 目測或以波長 405 nm 之吸光質測定呈色結果並記錄之。

Buffers

PBS (pH 7.4)(1 liter)

8.0	g	NaCl
0.2	g	KH_2PO_4
2.9	g	$Na_2HPO_4.12\ H_2O$
0.2	g	KCl
0.2	g	NaN_3

PBST = 1 liter PBS + 0.5 ml Tween 20

Coating Buffer (pH 9.6) (1 liter)

1.59 g Na_2CO_3

2.93 g $NaHCO_3$

0.2 g NaN_3

Sample Extraction buffer (pH7.5)

0.25 M phosphate buffer

0.01 M EDTA

Enzyme Buffer

PBST

2% PVP-40 (Polyvinyl - Pyrrolidone)

0.2% ovalbumin

Substrate Buffer (1 liter)

97 ml Diethanolamine

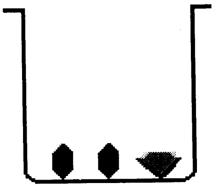
800 ml H_2O

0.2 g NaN_3

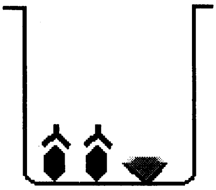
以 HCl 調 pH 至 9.8

以上 Buffers 均保存於 4-6°C

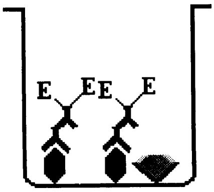
Principle of the indirect ELISE Technique



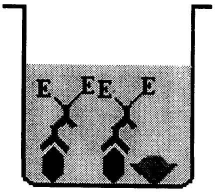
1.檢體吸附於微量盤



2.加入專一性之一級抗血清

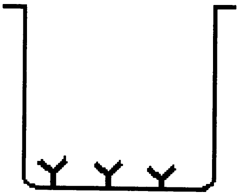


3.加入與酵素連結的二級抗血清
此二級抗血清可辨認一級抗血清

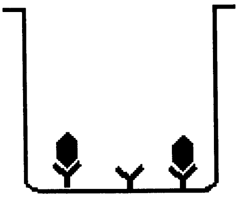


4.加入酵素質
呈色深淺與病毒濃度正相關

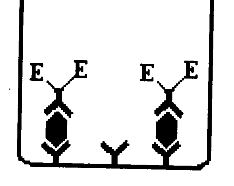
Principle of the direct ELISE Technique



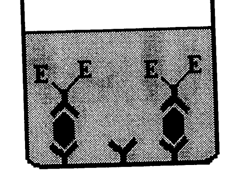
1. 檢體吸附於微量盤



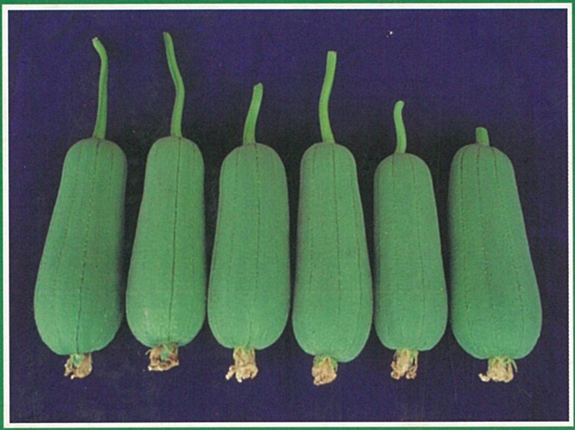
2.加入檢體
檢體中之病毒與其抗體聯結



3.加入具專一性之酵素聯結抗體
其可與病毒連接



4.加入酵素基質溶液
若有反應溶液由無色變成黃色
呈色深淺與病毒濃度成正相關

蔬菜育種技術研習會專刊
編　者：林俊義、蕭吉雄、楊偉正
發行人：林俊義
發行所：台灣省農業試驗所
地　址：台灣縣霧峰鄉中正路 189 號
電　話：04-3302301
承印者：信成文具印刷有限公司
地　址：台中市興中街 106 號
電　話：04-2224617
中華民國八十八年五月再版　　　　非賣品

統　一　編　號
030854870091